

Aus dem Medizinhistorischen Institut der Universität Basel (Schweiz)
(Vorsteher: Prof. Dr. H. Buess)

**Albrecht von Haller,
der Begründer der modernen Hämodynamik**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität Basel

vorgelegt von
PETER WOBMANN
von Malters und Buchrain

1965

Dr. Dietrich Steinkopff Verlag
Darmstadt 1967

Von der Medizinischen Fakultät der Universität Basel genehmigt auf Antrag
von Herrn Prof. Dr. H. BUSS: 26. 4. 1965

Tag der Promotion: 4. Mai 1965

Sonderdruck
aus „Archiv für Kreislaufforschung“, Bd. 52, S. 96-128
(1967)

Sonderdruck aus
„Archiv für Kreislaufforschung“
Band 52, Seite 96–128, 1967
Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt

Aus dem Medizinhistorischen Institut der Universität Basel (Schweiz)
(Vorsteher: Prof. Dr. H. Buess)

Albrecht von Haller,
der Begründer der modernen Hämodynamik

VON PETER WOEMANN

(Eingegangen am 27. Februar 1966)

Uns Angehörige des 20. Jahrhunderts fasziniert in der Geschichte des menschlichen Geistes vor allem das siebzehnte, mehr noch das achtzehnte Jahrhundert. Die Wurzeln unserer Geistesart und Kultur sind in jener Zeit verankert. Wir fühlen uns mit den Menschen vor 200 Jahren noch durch nahe Verwandtschaft verbunden; wirken doch ihre Koryphäen bis in unsere Zeit nach. Haben doch ihre Philosophen (LEIBNIZ, HUME, MONTESQUIEU, VOLTAIRE, ROUSSEAU, KANT) bis heute den nachhaltigsten Einfluß ausgeübt. Sind heute doch die Klassiker der Literatur (KLOPSTOCK, LESSING, SCHILLER, HERDER, GOETHE) und der Musik (HÄNDEL, BACH, HAYDN, MOZART, BEETHOVEN) in ihrem Werk lebendiger als zu ihrer Zeit!

Im 16. und 17. Jahrhundert ist auch die moderne Wissenschaft entstanden. Indem man sich nun endgültig von den alten Autoritäten löste und an deren Stelle die induktive Forschung mit der Betonung der Beobachtung und des Experimentes sowie der mathematischen Behandlung der Probleme setzte, entstanden Geist und Methode moderner Wissenschaftlichkeit. Diese war es, welche die großen Erfolge auf allen Gebieten ermöglichte. Auf der Seite der Medizin profitierte im 17. Jahrhundert vor allem die Anatomie vom neuen Geist (siehe aber auch HARVEY!). In der Medizingeschichte des 18. Jahrhunderts stellt die Begründung der modernen Physiologie durch unseren großen Landsmann ALBRECHT VON HALLER (1708–1777) das epochemachende Ereignis dar.

HALLER ist der berühmte Biologe, Botaniker und Dichter. Sein größter Ruhm, derjenige als Begründer der Physiologie, fußt auf dem Riesenwerk der achtbändigen *Elementa physiologiae corporis humani*. Der erste Band dieses imposanten Lebenswerkes trägt die Jahreszahl 1757. Mit MICHAEL FOSTER (1836–1907) geht man einig, wenn er schreibt: „The year 1757 may be regarded in a certain sense as a red letter year in the history of physiology, as marking an epoch, indicating the dividing line between modern physiology and all that went before“¹⁾.

Eine eingehende, auf HALLERS Werken fußende Begründung, daß diese These besonders für die Hämodynamik gilt, fehlt bis heute. Die vorliegende Arbeit stellt den Versuch einer solchen Begründung dar.

I. Das Leben Albrecht von Hallers

„Der Herr VON HALLER gehört unter die glücklichen Gelehrten, welche schon bei ihrem Leben eines ausgebreiteten Ruhms genießen, als nur wenige erst

¹⁾ M. FOSTER, *Lectures on the history of Physiology*, Cambridge 1901 (zit. nach H. BUSS, *Zur Entstehung der Elementa Physiologiae Albrecht Hallers*, *Gesnerus* 15, 34 (1958).



nach ihrem Tode teilhaftig werden. Dieses Vorzugs hat er sich unwidersprechlich durch überwiegende Verdienste würdig gemacht, die ihn auch noch bei der spätesten Nachwelt ebenso groß erhalten werden, als er izzt in unparteiischen Augen erscheinen muß. Sein Leben beschreiben, heißt nicht, einen bloßen Dichter oder einen bloßen Zergliederer oder einen bloßen Kräuterkundigen, sondern einen Mann zum Muster aufstellen – whose mind contains a world and seems for all things framed!“ (Dessen Geist eine Welt umfaßt und der für alle Dinge geschaffen zu sein scheint.)

Diese Worte stammen von keinem geringeren als von dem jungen LESSING (1729–1781), welcher sie zum Erscheinen der berühmten Biographie HALLERS von JOHANN GEORG ZIMMERMANN (1728–1795, Stadtarzt von BRUGG) („Das Leben des Herrn von HALLER“, Zürich 1755) niederschrieb²⁾. Es seien kurz die wichtigsten Stationen des Lebensweges dieses bereits im Urteil seiner Zeitgenossen derart außerordentlichen Mannes verfolgt.

ALBRECHT wurde in Bern am 16. Oktober 1708 als jüngstes Kind frommer, pietistischer Eltern geboren. Er war ein frühreifer Knabe von schwächlicher Gesundheit, die wohl zu gleichen Teilen seiner Konstitution und der Englischen Krankheit, an der er litt, zuzuschreiben war. Um so größer waren sein Wissensdurst und sein Ehrgeiz, welcher seine ganze Umgebung beängstigte. Früh schon beschäftigte er sich mit literarischen und naturwissenschaftlichen Versuchen, die seinen Hang zum Enzyklopädischen bereits erkennen lassen. Obwohl er ein Einzelgänger war und kameradschaftliche Kontakte scheute, besaß er Herz und Humor. Dieser zeigte sich zusammen mit dem poetischen Talent in munteren lateinischen und deutschen Spottgedichten auf seine Lehrer.

Mit 15 Jahren schrieb sich HALLER an der Universität Tübingen für das Studium der Medizin ein. Bald mußte er indessen erfahren, daß von seiten der Lehrer hier nur wenig geboten wurde. So ist es nicht erstaunlich, daß die studentischen Ziele viel weniger in der Wissenschaft als im „süßen Leben“ lagen. Es verwundert uns eher, daß auch der sonst so zurückgezogene junge HALLER sich zum tollen Treiben hinreißen ließ. Eines Abends, so wird erzählt, füllten zwei Kumpanen unter HALLERS Assistenz einen Nachtwächter derart ab, daß dieser anderntags das Zeitliche segnete. Das Trio wurde in der Folge vor Gericht gestellt; die zwei Kollegen mußten ins Gefängnis, und HALLER erhielt eine Buße aufgebürdet. Lange konnte es der wissensdurstige, auf harte Studienarbeit erpichte Student in dieser Atmosphäre nicht aushalten. Nach knapp zweijährigem Aufenthalt packte er seine Koffer und zog im Frühjahr 1725 nach Leiden. Die Frucht der Tübinger Zeit lag sicher darin, daß sie den jungen HALLER aus seiner Vereinsamung herausriß und ihn weltoffener machte.

In Leiden fand er hingegen die ihm zusagende Luft. Er hätte sich auch kaum bessere Lehrer wünschen können: Der große HERMANN BOERHAAVE (1668–1738) und BERNHARD SIEGFRIED ALBINUS (1697–1770) wurden mehr der Art als dem Inhalt ihrer Lehren nach für sein ganzes Leben richtungweisend.

Nach der Promotion im Jahre 1727 führten Studienreisen den 19jährigen Doktor zuerst nach London, dann nach Paris, wo er von JACOB BENIGNUS WINSLOW (1669–1760) starke anatomische Impulse empfing. Paris mußte er indessen fluchtartig verlassen, weil man entdeckte hatte, daß der junge Forscher in seiner Wohnung Leichen sezirt hatte.

Die nächste Station wurde Basel. Hier studierte der junge, wissensdurstige Mediziner bei JOHANNES BERNOULLI I. (1667–1748) Mathematik. Die Basler Zeit gewann auch dadurch Bedeutung, weil HALLER hier zum Botaniker wurde. Botanische Interesse sollten ihn von nun an durch das ganze Leben begleiten, und sie waren es auch, die ihn von Basel aus zusammen mit seinem Freund JOHANNES GESSNER (1709–1790) auf die Alpenreise führten, der das berühmte Gedicht HALLERS „Die Alpen“ seine Entstehung verdankt.

²⁾ Zit. nach der sehr lesenswerten Biographie „Albrecht von HALLERS Leben“ von ADOLF HALLER, 103 (Basel, ohne Jahreszahl).

Im Alter von 21 Jahren ließ sich HALLER in seiner Heimatstadt als praktischer Arzt nieder. Damit betrachtete er aber seine Laufbahn keineswegs als abgeschlossen; die praktische Medizin allein konnte ihm auch nicht genügen. Getrieben durch das feu sacré der Wissenschaft, durch einen unstillbaren Drang, Neues zu entdecken, widmete er seine Zeit neben der Praxis anatomischen und botanischen Studien. Diese wurden 1734 durch einen ersten großen Erfolg gekrönt, indem er in diesem Jahre ein eigens für ihn erbautes „anatomisches Theater“ in Bern übernehmen konnte. Bereits drang der Ruf des jungen Gelehrten über die Grenzen: Zwei Jahre später erreichte den 28jährigen HALLER eine sehr ehrenvolle Berufung an die neugegründete Universität Göttingen als Ordinarius für Anatomie, Chirurgie und Botanik.

Das neue Wirkungsfeld erwies sich als für HALLER denkbar geeignet. 17 Jahre lang, 1736–1753, entfaltete HALLER hier seine Kräfte in rastlosem Fleiß zu einer wissenschaftlichen Tätigkeit von beispiellosem Umfang. Ein botanisches, ein anatomisches Institut und eine Klinik wurden gegründet. 1739 war das Gründungsjahr der „Göttingischen Zeitungen von Gelehrten Sachen“, die HALLER 25 Jahre lang leitete, und in welchen er eine sehr große Anzahl von Originalmitteilungen und Rezensionen veröffentlichte. Eine Flora der Schweiz erschien 1742. Die wertvollste Frucht zahlreicher anatomischer Studien sind die prächtigen Tafeln der Gefäßanatomie, die Bekanntes in bisher nie gesehener Vollendung, aber auch neue Erkenntnisse enthalten (Tripus Halleri). Immer mehr aber galt HALLERS Interesse der *Anatomia animata*, der Lehre nicht nur vom Bau der Organe, sondern darüber hinaus von der Funktion der Teile, die dadurch sinn- und zweckerfüllt werden und denen dadurch gleichsam Leben eingehaucht wird. Solcherart versuchte HALLER, von der Struktur ausgehend die Arbeitsweise der Organe zu ergründen. Die erste Frucht dieser Arbeit erschien 1747: die „*Primae Lineae Physiologiae*“, die erste Gesamtdarstellung der Physiologie unserer medizinischen Literatur. Die zweite Frucht war die berühmte, spezifische Lehre HALLERS von der Sensibilität und Irritabilität, die er zum erstenmal 1752 vor der „Göttingischen Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften“, welcher er als Gründer vorstand, entwickelte. Diese neue Lehre sollte die Folgezeit aufs tiefste beeinflussen³⁾.

HALLERS Stellung in Göttingen war keinesweges die eines *primus inter pares*. Er beherrschte vielmehr die Universität als ungekrönter König. Die Schärfe seines Intellekts war gefürchtet. Man berichtet, die andern Professoren hätten es nicht gewagt, mit HALLER zu sprechen, ohne sich gründlich vorbereitet zu haben; ein Geschichtsprofessor habe ihm ein Problem vorgelegt, an dem er sich seit zwei Tagen den Kopf zerbrochen hatte, worauf HALLER die Lösung so einfach und klar formuliert habe, als hätte er sich nur damit beschäftigt!

Überarbeitung, Krankheit, Zwistigkeiten mit Kollegen und nicht zuletzt auch Heimweh bewogen HALLER, 1753 seine akademische Tätigkeit aufzugeben und nach Bern heimzukehren. Hier zog er in den Großen Rat ein und bekleidete verschiedene städtische und staatliche Ämter. So versah er insbesondere das Amt eines bernischen Salzdirektors in Roche in den Jahren 1758 bis 1764.

Diese Tätigkeit ließ ihm die ersehnte Muße für die Verwirklichung seiner großen Pläne. In der Tat entstanden jetzt in rastloser Arbeit kritische Bibliographien der Botanik, der Anatomie, der Chirurgie, der praktischen Medizin. Die antiken Ärzte wurden herausgegeben. Daneben stand der große Gelehrte in intensiver Korrespondenz mit der ganzen wissenschaftlichen Welt. Vor allem aber galt sein Interesse und seine Hauptsorge dem monumentalen Handbuch der Physiologie, das in den Jahren 1756 bis 1766 geschaffen wurde⁴⁾, den *Elementa Physiologiae*, „in denen das letzte Geheimnis seines Ruhmes liegt“ (H. BUSS)⁵⁾.

³⁾ Siehe dazu: H. BUSS, Zur Entwicklung der Irritabilitätslehre, in Festschrift für Dr. J. BRODBECK-SANDREUTER, 229–331 (Basel 1942).

⁴⁾ Siehe dazu: H. BUSS, Zur Entstehung der *Elementa Physiologiae* ALBRECHT HALLERS, Gesnerus 15, 17–35 (1958).

⁵⁾ Ibid., 34.

In den Jahren 1745–1768 stand HALLER in wissenschaftlicher Korrespondenz mit dem bedeutenden Pathologen GIAMBATTISTA MORGAGNI (1682–1771)^{5a}). An Hand dieser Briefe wollen wir kurz die Entstehung des physiologischen Lebenswerkes unseres Gelehrten verfolgen. Die erste Angabe finden wir im Brief vom 10. 6. 1751: Er habe ein größeres physiologisches Werk begonnen. Den Entschluß dazu hatte er indessen schon bald nach Beginn seines Wirkens in Göttingen gefaßt, und Material dazu hatte er schon lange vorher zusammengetragen. Ein Jahr später, am 3. Mai 1752, klagt HALLER darüber, daß die Arbeit an der großen Physiologie nur langsam vorwärts schreite, teils wegen vieler anderweitiger Pflichten, teils wegen „des Umfanges der zu vielen Zitate aus den zusammengebrachten Schriften“. Immerhin sei die Beschreibung des Herzens vollendet.

Das Arbeitstempo an den *Elementa* sollte sollte sich aber noch nicht ändern: HALLER teilt am 8. 2. 1754, jetzt aus Bern, MORGAGNI mit, er wolle sich demnächst der so lange vernachlässigten Physiologie wieder zuwenden. In den folgenden Monaten hat er seinen Vorsatz ausgeführt. Er berichtet am 17. Juli 1754 über mikroskopische Untersuchungen der Blutbewegung bei lebenden Tieren. Insbesondere die Erforschung der Stromrichtung in den Venen sei bald abgeschlossen.

Nachdem am 1. März 1756 die Rede davon war, die Drucklegung des ersten Bandes bereite Schwierigkeiten, da ein Göttinger Buchhändler die Herausgabe abgelehnt habe, konnte er am 28. August 1756 die Drucklegung (in Lausanne) melden. Dieses ganze Werk sei ins Ungeheure angewachsen; er arbeite, neben Ratsgeschäften, nur daran. Die Klage HALLERS über die große Arbeit verstehen wir vollauf: Im Brief vom 13. 10. 1756 findet sich die Angabe, HALLER schreibe das ganze Werk eigenhändig ab, um Fehler zu vermeiden!

Am 11. Juni 1757 erscheint HALLER etwas verzagt. Er berichtet von Verpflichtungen, die ihm gegen seinen Willen auferlegt würden, und schreibt in einer pessimistischen Anwendung: „Ich fühle, daß das Leben mir schließlich entrinnt und ich noch nicht das vollendet habe, was zu vollbringen ich höchlichst erstrebe“ (Übersetzung E. HINTZSCHE).

Bald folgt jedoch der Triumph: Der erste Band ist erschienen! (Brief vom 29. 11. 1757).

Im Sommer 1758 arbeitete HALLER am zweiten Band. Da er viele Hypothesen übernommen habe, gefalle ihm dieser Band nicht so gut, erfuhr MORGAGNI im Brief vom 18. 9. 1758.

Nun erscheinen die Bände in rascher Folge: Tomus II sei erschienen und Tomus III fertiggestellt, lesen wir im Brief vom 27. 10. 1759. Letzterer erschien 1760.

Am 5. Mai 1761 meldet HALLER, der vierte Band sei im Druck, der fünfte in Arbeit. Dieser erschien dann 1763, der sechste ein Jahr später. 1765 war der siebte Band gedruckt (Brief vom 2. 4. 1765) und 1766 auch der achte und letzte.

Wir sehen, daß HALLER mehr als zwölf volle Jahre (1754–1766) an den *Elementa* gearbeitet hat. Wenn er auch daneben amtlichen Pflichten obliegen mußte und botanische und anatomische Studien betrieb, so steht doch fest, daß der Berner Gelehrte nicht nur Lehrstuhl und höheres Einkommen, sondern auch Jahre geruhsamen Lebens seinen *Elementa Physiologiae* geopfert hat. Wir können HALLERS Arbeitseifer und Willensstärke nur bewundern.

Als ein Gelehrter, auf den die Blicke ganz Europas gerichtet waren, starb ALBRECHT VON HALLER am 12. September 1777.

II. Auffassungen über die Blutbewegung vor Haller

Physiologische Lehren finden sich bereits im ersten Niederschlag der Medizin als selbständiger Wissenschaft, im *Corpus Hippocraticum* (HIPPOKRATES lebte von 460–377 vor Chr.): Das Blut findet sich in allen Blutgefäßen.

^{5a}) In sehr verdienstvoller Weise hat E. HINTZSCHE neulich diesen Briefwechsel herausgegeben (ALBRECHT VON HALLER – GIAMBATTISTA MORGAGNI, Briefwechsel 1745–1768, Bern 1964).

Es entsteht aus der Nahrung und enthält das Pneuma und die Wärme. Das Pneuma wird durch die Lungen angesaugt; die Wärme, welche die gesunde Mischung der Säfte aufrecht erhält, entsteht in der linken, blutleeren Herzkammer. Einen Blutkreislauf kannten die Hippokratiker nicht⁶); das Blut befindet sich vielmehr in einer hin und her wogenden Bewegung. Ursache der Herzaktion ist die dem linken Herzen eingepflanzte Wärme. Die Semilunarklappen mit ihrer Funktionsweise und Wirkung sind bereits bekannt.

ARISTOTELES (384–322 v. Chr.) brachte auf unserem Gebiet keine wesentlich neuen Erkenntnisse. Das Herz ist bei ihm der Sitz der Seele und der Wärme, der Ort der Blutbildung und der Ursprung des Gefäßsystems. Aus den Lungen gelangt Luft (Pneuma) durch je einen Gang ins rechte und linke Herz. Sie kühlt das Blut ab, so daß es sich zusammenzieht. Sofort entsteht aber neue Wärme und dehnt das Blut im Herzen wieder aus, und zwar in solchem Maße, daß der Platzmangel es in die Adern treibt. So entsteht der Puls. Das Blut, welches in die Peripherie gelangt, wird zusammen mit den kleinsten Gefäßen zu Fleisch und Gewebe.

Die Schule von Alexandria, die berühmteste Ärzteschule der hellenistischen Zeit, war das Gründungswerk von HEROPHILOS (ca. 335–280 v. Chr.) und von ERASISTRATOS (ca. 310–250 v. Chr.).

HEROPHILOS war vor allem der große Anatom. Auf ihn geht die Bezeichnung der Lungenarterie als *vena arteriosa* und der Lungenvenen als *arteriae venosae* zurück, eine Namengebung, die auf der anatomischen Struktur beruht. Diese Namen behielten beinahe 2000 Jahre lang ihre volle Gültigkeit. Dasselbe gilt von HEROPHILOS' Kriterien zur Unterscheidung der beiden Gefäßarten, und zwar nach ihrem Inhalt: Vene ist, was venöses (dickflüssiges) Blut enthält, Arterie, was entweder Pneuma allein oder eine Mischung von Blut und Pneuma führt.

Beide großen Alexandriner vertraten die Lehre von blutleeren Arterien, in denen sich Luft und Pneuma findet. Diese unheilvolle Unterscheidung von mit Blut gefüllten und von blutleeren Gefäßen scheint aus erster ALKMAION von Kroton (um 500 v. Chr.) getroffen zu haben. PRAXAGORAS in Kos (um 300 v. Chr.) brachte diese Ansicht seinem Schüler HEROPHILOS bei.

ERASISTRATOS „war der erste, der sich um eine Physiologie des Herzens und der großen Gefäße bemühte“ (HULDRYCH M. KOELBING⁷). Nach seiner Lehre wird das Blut im Magen unter Mithilfe der Leber gebildet. Die Venen führen es aus dem Magen ins rechte Herz und in die Lunge, dann zurück in die Peripherie, wo es zur Bildung und Ernährung der Organe dient. Leber und Magen sind also die Produktionsstätten des Blutes, von wo aus es in die Peripherie geleitet wird. Aus den Lungen strömt das Pneuma über die *arteriae venosae* ins linke Herz. Von dort leiten es die Arterien als *πνεῦμα ζωτικόν*, das die vegetativen Vorgänge steuert, zur Peripherie und als *πνεῦμα ψυχικόν* zur Dura Mater. Letzteres erfüllt von hier aus die hohl gedachten Nerven und vermittelt Empfindung und Bewegung. Die Arterien sind also blutleer. Der Grund, weshalb sie bei Verletzung trotzdem bluten, liegt im Horror vacui – der Begriff wurde vom alexandrinischen Physiker STRATON von Lampsakos (zwischen 300 und

⁶) K. E. ROTHSCHUH, Geschichte der Physiologie, 8 und 49.

⁷) H. M. KOELBING, Blutdruck und Blutgefäße einst und jetzt, 3, Documenta Geigy (Basel 1963).

200 v. Chr.) geprägt⁸⁾, der Blut aus den Venen über sich öffnende Synanastomososen in die Arterien strömen läßt. Neben den Taschenklappen kennt ERASISTRATOS auch die Segelklappen und schätzt ihre Funktion richtig ein, so daß das Herz für ihn ganz richtig eine Pumpe ist, welche nur eine Strömungsrichtung zuläßt. In der Diastole saugt die rechte Herzkammer Blut aus den Hohlvenen an, die linke Pneuma aus der Lunge; die Systole pumpt das Blut in die Lungenarterie, das Pneuma in die Aorta.

Zum Teil entscheidende Fortschritte brachte der große GALENOS von Pergamon (129–201 v. Chr.). Er faßte die ganze medizinische Tradition kritisch zusammen, sammelte reiche eigene Erfahrungen durch Beobachtung, Sektion und Experiment und gab eine Anzahl Schriften heraus, eine Summa medizinischen Wissens, auf der die Heilkunde bis ins 17. Jahrhundert basierte. GALEN beseitigt den Irrtum von der Lufthaltigkeit von linkem Ventrikel und Arterien. Er lehrt, daß das Blut von der Leber, seiner Bildungsstätte, aus zu gleichen Teilen einerseits in den Venen peripherwärts und andererseits durch die Hohlvene in den rechten Ventrikel fließt, welcher eine diastolische Anziehungskraft ausübt.

Der Blutstrom in den Venen ist indessen umkehrbar. Das rechte Herz treibt einen Anteil des Blutes in die Lunge, einen andern durch Öffnungen im Septum in den linken Ventrikel. Dieser saugt bei der Diastole Pneuma aus den Lungen an und vermischt es mit dem Blut. Daraus bezieht er die Kraft zur Kontraktion und zur Erzeugung der Wärme, dem calor innatus, der dem Blute mitgeteilt wird. In der Systole befördert er seinen Inhalt in die Arterien. Diese beziehen ihrerseits vom Herzen Kraft zu einem Sog, den sie durch pulsatorische Erweiterung produzieren. Ursache der Blutbewegung ist nicht allein das Herz, sondern ebensosehr der Horror vacui. Die Herzklappen begünstigen wohl die Strömung in einer Richtung, verunmöglichen aber eine Gegenströmung nicht ganz. In der Peripherie tritt durch Anastomososen etwas Blut aus den Venen in die Arterien, aus diesen etwas Pneuma in die Venen über. Da beide Gefäßarten funktionell völlig verschiedene Kanalsysteme darstellen, die jedes nach seiner besonderen Bedeutung lebenswichtig sind, mußte für GALEN der Gedanke eines Blutkreislaufes völlig fern liegen, obwohl eigentlich alle morphologischen Grundlagen bereits gegeben waren.

Tausend Jahre sollten vergehen, bis die nächste bedeutende Entdeckung die Hämodynamik bereicherte. IBN AN-NAFIS (1210–1290) gebührt die Ehre, als Erster den kleinen Kreislauf des Blutes klar erkannt zu haben. Er sah also richtig, daß der obligate und einzige Weg des Blutes aus der rechten Kammer in die linke über die Lungen führt. Seine Entdeckung wurde aber weder den Zeitgenossen noch der frühen Nachwelt bekannt. Das Verdienst, den kleinen Kreislauf wiederentdeckt und der Welt geschenkt zu haben, kommt zwei Gelehrten des 16. Jahrhunderts zu, die wahrscheinlich gleichzeitig und unabhängig auf diese wichtige Erkenntnis gestoßen sind: MIGUEL SERVETO (1511–1553) und REALDO COLOMBO (1516–1559).

Das Schicksal von IBN AN-NAFIS teilte der berühmte LEONARDO DA VINCI (1452–1519), dessen Schriften verloren gingen und erst 1892 wiederentdeckt wurden. Man findet in ihnen späteren Zeiten vorweggenommene Erkenntnisse, die das Universalgenie auf dem Weg der Anwendung physikalischer Prinzipien und experimenteller Analysen gefunden hat, zum Beispiel die richtige Erklärung des Herzklappenschlusses durch Wirbelbildungen im Blutstrom

⁸⁾ K. E. ROTSCHUH, Geschichte der Physiologie, 12.

und durch eine Rückstoßbewegung der Blutsäule. Erst im Jahre 1891 teilte L. KREHL der Welt dies mit⁹⁾).

Mit dem 17. Jahrhundert brach eine neue Epoche an. Die Dynamik, welche die barocke Kultur prägte, wurde zum Motor neuer Forschungsmethodik. Die Forschung löste sich jetzt von der Vormundschaft der alten Autoritäten und arbeitete erstmals induktiv, indem immer mehr nur das Experiment und die mathematische Behandlung wissenschaftlicher Probleme galt. Es entstanden in dieser Zeit Geist und Methode moderner wissenschaftlicher Forschung, wovon auch die Physiologie in großem Maße profitierte.

Die größte und folgenschwerste Leistung in der Physiologie war zweifellos die Entdeckung des Blutkreislaufes durch WILLIAM HARVEY (1578–1657). Sie war die Folge logischer Deutung anatomischer Befunde, genial einfacher Experimente und der Frage nach dem Schlagvolumen. HARVEY bestätigte, daß die Herzklappen den Durchtritt des Blutes nur in einer Richtung ermöglichen. In der Gegenrichtung verhindern sie aber auch das Passieren von Spiritus oder „Ruß“. Die Klappen in den Venen dienen dazu, die ausschließlich herzwärts gerichtete venöse Blutströmung zu unterstützen. Einfache Ligaturen ganzer Extremitäten in verschiedenen Stärkegraden und Unterbindungen von Gefäßen erwiesen eindeutig die Richtung der Blutströmung in Arterien und Venen.

Entscheidend aber wurde HARVEYS Frage nach dem „Wieviel“, die er als Erster stellte. Selbst wenn er annahm, daß das Schlagvolumen nur eine halbe Unze beträgt, läßt sich leicht errechnen, daß die gesamte Blutmenge, die der linke Ventrikel in einem bestimmten Zeitraum in die Aorta pumpt, um ein Vielfaches größer ist, als in dieser Zeit aus Nahrung und Leber nachgeliefert werden kann.

So kam der große englische Gelehrte durch diese genial-einfache Überlegung zu seiner Lehre von der Bewegung des Blutes, die er einen Kreislauf nennt: Die beiden Vorhöfe des Herzens schlagen synchron und treiben ihren Inhalt in die Kammern, die ihrerseits durch aktive Anspannung das Blut in die großen Arterienstämme befördern. Durch die Vena arteriosa gelangt das Blut in die Lunge und von dort durch „Porositäten“ in die Arteria venosa und in den linken Vorhof. Die Arterien leiten das Blut in die Peripherie; von dort fließt es durch die Venen wieder zum Herzen zurück. Der Übertritt des Blutes aus den Arterien in die Venen bleibt allerdings unklar. Aktive Phase der Herzaktion ist die Systole. Sie stellt eine Volumenverminderung durch Kontraktion dar und nicht eine aktive Erweiterung als Ursache einer saugenden Kraft, wie es VESAL (1514–1564) haben wollte. Der Puls in den Arterien wird durch das Blut hervorgerufen, das während der Systole in sie hineingetrieben wird und sie dabei wie Schläuche ausweitet. Einzige Ursache der Blutströmung ist das Herz.

So war der Bann im Jahre 1628 mit dem Erscheinen von HARVEYS Schrift „Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis“ (Frankfurt 1628) gebrochen, und die neue Lehre vom Kreislauf des Blutes fand in den folgenden Jahrzehnten begeisterte Anhänger wie JAN DE WALE (1604–1649), der neue überzeugende Beweise beisteuerte¹⁰⁾, wie etwa den Experimentalbeweis für den Übertritt des Blutes aus den Arterien in die Venen an den Extremitäten, aber auch ebenso leidenschaftliche Gegner wie den schon zu seiner Zeit umstrittenen

⁹⁾ In Abh. sächs. Ges. Wiss., Leipzig, 17, 338 (1891). (Zitiert nach K. E. ROTSCHUH: Entwicklungsgeschichte physiolog. Probleme in Tabellenform, München-Berlin 1952, 21.)

¹⁰⁾ In zwei Briefen an THOMAS BARTHOLIN (cf. ROTSCHUH, Geschichte der Physiologie, 54).

Dekan der Pariser Medizinischen Fakultät, JEAN RIOLAN d. Jüng. (1580–1657) und JAMES PRIMEROSE (ca. 1580–1660), mit welchem HARVEY persönlich in den Jahren 1648–51 in die Arena wissenschaftlichen Streites stieg. Mit der Entdeckung der Lungenkapillaren durch den großen MARCELLO MALPIGHI (1628 bis 1694) im Jahre 1661¹¹⁾ wurde die empfindliche Lücke zwischen arteriellem und venösem Gefäßgebiet geschlossen, und die zwingende Hypothese mußte zur Gewißheit werden.

Der Mathematiker und Physiker GIOVANNI ALFONSO BORELLI (1608–1679) war es, der in geradezu bahnbrechender Weise die Physik zur Erklärung physiologischer Vorgänge heranzog¹²⁾ – LEONARDO DA VINCIS Werk war ja leider in Vergessenheit geraten. Die Physiologie verdankt BORELLI eine neue Lehre der Muskelverkürzung, die, als Gleichnis betrachtet, modernste Auffassungen widerspiegelt. Er stellte fest, daß beim Atmen Luft in die Lungenkapillaren übertritt. Sein Beitrag zur Hämodynamik bezieht sich auf den Einfluß der Arterien auf die Blutströmung. Er erkannte als Erster, daß sich die Schlagadern nach der Dehnung durch die Herzkontraktion, kraft ihrer Muskelwände allerdings, zusammenziehen und so das Blut in die Peripherie weiterbefördern – ein erster Anklang an die „Windkesselfunktion“ ERNST HEINRICH WEBERS (1795–1878)¹³⁾. Außerdem versuchte sich BORELLI ebenfalls als Erster in der Berechnung der Herzarbeit, und zwar auf indirektem Wege: Er verglich Gewicht und Leistung der Kaumuskeln mit denselben Größen des Herzens und kam so auf eine Herzkraft pro Schlag von etwa 135000 Pfund.

Wenn dieser erste Versuch, die Herzarbeit zu berechnen, auch ein untauglicher war, so war damit den Physiologen doch die Aufgabe gestellt. Die erste im Prinzip richtige Berechnung als das Produkt aus Schlagvolumen und Hubhöhe (Kraft mal Weg) gab der Arzt und Mathematiker DANIEL BERNOULLI (1700–1782), der Sohn von HALLERS Lehrer und der Bruder von JOHANNES BERNOULLI II. (1710–1790). DANIEL BERNOULLI leitete seinen Schüler DANIEL PASSAVANT an zur Dissertation „De vi cordis“, Basel 1748, worin dieser den HALESSchen Blutdruckwert und ein Schlagvolumen von $1\frac{1}{2}$ Unzen (ca. 45 g) der Berechnung der Herzarbeit zugrunde legt und den tatsächlichen Werten sehr nahe kommt.

DANIEL BERNOULLI schuf mit der Erleuchtung dieser Zusammenhänge eine wahre Revolution¹⁴⁾. Seine „Hydrodynamica“ (Straßburg 1733) leitete eine völlig neue Epoche ein. Er erkannte, daß bewegte Flüssigkeiten eigene Gesetzmäßigkeiten und Eigentümlichkeiten aufweisen. Eine bewegte Flüssigkeit ist auch das Blut. Analog zu BERNOULLIS Aussagen war jetzt klar, daß in direkter Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Blutstromes und damit vom Widerstand, der durch den Gefäßquerschnitt gegeben ist, auf den Gefäßwänden ein seitlicher Druck lastet. Dieser Seitendruck erklärt auch den Puls.

STEPHEN HALES (1677–1761), der englische Pastor, welcher neben seinem Pfarramt anatomische, botanische und physikalische Studien betrieb und mit

¹¹⁾ De pulmonibus epistola II (1661).

¹²⁾ De motu animalium (Roma 1680/81).

¹³⁾ E. H. WEBER, Annotationes anatomicae et physiologicae (Lipsiae 1827).

¹⁴⁾ Vgl. F. HUBER, Daniel Bernoulli als Physiologe und Statistiker (Basel 1958), wo m. E. erstmals auf die großen physiologischen Leistungen BERNOULLIS eingehender aufmerksam gemacht wird.

dessen Werk „*Statical essays: containing haemostaticks*“ (London 1733) sich HALLER sehr intensiv auseinandersetzte, versuchte erstmalig die Fragen der Blutströmung mittels der Hydromechanik und der Hydraulik zu lösen. Er schloß aus der Tatsache, daß die von ANTHONY VAN LEEUWENHOEK (1632 bis 1723) beschriebenen „Blutkügelchen“, die Erythrozyten, nur um ein Geringes kleiner sind als der Durchmesser der Kapillaren, darauf, daß sich im Gebiet der kleinsten Gefäße der Blutströmung ein großer Widerstand entgegenstellen muß.

Bekannter sind HALES' erstmalige Blutdruckmessungen¹⁵. Er band gläserne Steigrohre in Carotis und Jugularvenen von Pferden. Das arterielle Blut stieg ungefähr drei Meter hoch, während die Steighöhe des venösen Blutes nur 40 cm betrug. HALES' von allem Dogma befreite Denkungsart, die sich auf die experimentell erforschte Organfunktion stützt, und seine streng logischen und exakten Argumentationen haben HALLER stark beeindruckt, wie die *Elementa* zeigen. Wie JAMES KEILL (1673–1719), der in HALLERS großem Werk ebenfalls oft herangezogen wird, war HALES indessen ein Hauptvertreter der iatromechanischen Schule, also des „Calculus“, der Denkweise, die den Kreislauf möglichst unter die Gesetze des Flüssigkeitsstromes in starren Röhren oder unter die in geometrischen Figuren geltenden statischen Formeln unterordnen wollte¹⁶.

Das große Verdienst von HALES, den Blutdruck „entdeckt“ zu haben, wird durch die Mängel der Methode (Blutgerinnung im Steigrohr) nicht geschmälert, auch nicht dadurch, daß er aus einer einzigen, hydrostatischen Größe über den Druck im ganzen Kreislaufsystem aussagen wollte, und daß ihm die Abhängigkeit des Drucks vom Widerstand und damit vom Querschnitt des Gefäßes unbekannt blieb.

FRANÇOIS BOISSIER DE SAUVAGES (1706–1767), der große französische Nosologe, war es, der vor allem die Ergebnisse BERNOUILLIS auf die Hämodynamik übertrug. Er erkannte zusätzlich, daß die Elastizität der Gefäßwand die Verhältnisse wesentlich ändert. Der französische Gelehrte war für HALLER insbesondere von großer Bedeutung, weil dieser die Wellentheorie DE SAUVAGES zur Erklärung der Pulsentstehung heranziehen konnte.

Es sei gestattet, zum Abschluß der Vorgeschichte auf einen großen Gelehrten einzugehen, durch den die Physiologie und die Hämodynamik zwar nur wenig bereichert wurden, der aber dadurch an Bedeutung gewinnt, daß er HALLERS Lehrer war: HERMANN BOERHAAVE (1668–1738). In seiner Darstellung der Physiologie, in den „*Institutiones medicae*“, dem ersten Lehrbuche der Physiologie (Leiden 1708), findet sich immerhin eine originelle Erklärung des rhythmischen Herzschlages (neben anderen Stellen, die eine unabhängige Denkweise, wie etwa die überaus modern klingende Deutung des Hörvorganges).

Die Zusammenziehung des Herzens benötigt Zufluß von Blut durch die Koronararterien und Zustrom von Nervensaft. Durch die Kontraktion des Herzmuskels werden beide Wege unterbunden, so daß das Herz erschlaffen muß, was wiederum den Zustrom freigibt. Das Herz steuert sich also selbst: Diastole und Systole setzen sich gegenseitig voraus. Die großen Verdienste BOERHAAVES liegen darin, daß er unbeeinflußt von gewagten iatromechanischen und iatrophysikalischen Theorien die neuen Erkenntnisse der Naturwissenschaften auf die Medizin übertragen und deren Nutzanwendung gezogen hat. Dieses

¹⁵ Vgl. H. BUSS, Notizen zur Geschichte der Sphygmographie, *Experientia* **3**, (1947).

¹⁶ Nach H. BUSS, Die Anfänge der pathologischen Physiologie auf dem Gebiete der Kreislaufforschung nach A. Hallers *Elementa Physiologiae*, *Gesnerus* **11**, 132 (1954).

naturwissenschaftlich-medizinische Denken, das sich auch auf die Erklärung der Funktion organischer Struktur erstreckte, trug die größten Früchte in BOERHAAVES bedeutendstem Schüler ALBRECHT VON HALLER.

Diese Zusammenstellung der bedeutendsten Ergebnisse hämodynamischer Forschung vor HALLER erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie möchte dazu dienen, den Überblick über die Situation zu gewinnen, welche der Berner Gelehrte zu Beginn seines Wirkens vorfand.

Daten und Fakten seien in tabellarischer Form resumiert:

- um 500 v. Chr. ALKMAION von Kroton: Unterscheidung von blutgefüllten und blutleeren Gefäßen.
- 450–350 v. Chr. HIPPOKRATIKER: Blut wogt hin und her. Ursache der Herzbewegung: Eingepflanzte Wärme im linken Ventrikel. Semilunarklappen bekannt.
- 384–322 v. Chr. ARISTOTELES: Ursache des Herzschlages: Zusammenziehung des durch Pneuma abgekühlten Blutes im Herzen.
- 335–280 v. Chr. HEROPHILOS: Arterien sind mit Luft und Pneuma erfüllt. Namen: Arteria venosa, Vena arteriosa.
- 310–250 v. Chr. ERASISTRATOS: Blut wird in Leber und Magen gebildet und strömt in den Venen zur Peripherie. Das Herz ist eine Einwegpumpe; Kenntnis auch der Segelklappen.
Diastole = Saugakt (angesaugt wird Blut rechts, Pneuma links), Systole: Preßakt (Blut rechts, Pneuma links in Peripherie).
- 129–201 GALENOS: Linker Ventrikel und Arterien enthalten mit Pneuma vermischtes Blut. Das rechte Herz treibt Blut in die Lunge und via Septumporen in den linken Ventrikel. Pneuma ist die Ursache von Herzschlag und Wärme. Herzklappen sind physiologischerweise nicht vollständig suffizient.
- 1210–1290 IBN AN-NAFIS: Entdeckung des kleinen Blutkreislaufes.
- Zwischen 1545 und 1548 COLOMBO und SERVETO entdecken den kleinen Blutkreislauf neu.
- 1628 HARVEY: Mitteilung der Entdeckung des Blutkreislaufes. Herzklappen suffizient. Herzwärts gerichtete Blutströmungsrichtung in den Venen wird durch die Venenklappen unterstützt. Aktive Phase des Herzschlags ist eine Anspannung der Herzmuskulatur in der Systole. Folge: Volumenverminderung. Vorhöfe und Kammern schlagen je synchron.
- 1680/81 BORELLI: Kontraktion der gedehnten muskulösen Arterienwände erhalten den Blutstrom während der Diastole. Erste Berechnung der Herzarbeit.
- 1733 HALES: In der Peripherie liegt der größte Kreislaufwiderstand. Erstmalige Blutdruckmessungen mittels Steigrohren.
- 1738 BERNOULLIS „Hydrodynamica“
- 1748 FANIEL BERNOULLI und PASSAVANT: Richtige Berechnung der Herzarbeit aus Schlagvolumen und Blutdruck.

III. Die hämodynamischen Lehren Hallers

HALLERS hämodynamische Lehren fanden ihren Niederschlag in der wenig bekannten Schrift „*Deux mémoires sur le mouvement du sang et sur les effets de la saignée, fondées sur des expériences faites sur des animaux*“ (in der Folge zitiert als M I und M 2), die er der Göttingischen Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften sandte und die im Jahre 1757 in Lausanne bei MARC-MICHEL BOUSQUET erschienen. Vorzügliche Quellen sind aber besonders auch die ersten beiden Bände seiner „*Elementa Physiologiae Corporis Humani*“ (zitiert als E I und E II), welche von 1757–1766 beim gleichen Verleger erschienen (ab 1764 in Zusammenarbeit mit einem Berner Verlag).

„Oportet absque praejudicio ad opus venire, non eo animo ut videas, quae classicus auctor descripsit; sed ea cum voluntate, ut ea videas, quae natura fecit“ (Vorrede E I, p. IV). („Es ist notwendig, ohne Vorurteil ans Werk zu gehen, nicht aus dem Motiv, zu bestätigen, was ein klassischer Autor beschrieben hat, sondern mit dem Willen, zu entdecken, was die Natur geschaffen hat“). HALLER will, unbeeinflusst von alten Autoritäten, nur der Wahrheit und seinem immensen Forschungsdrang dienen. Er äußert sich am Schlusse von *mémoire I* in pathetischer Weise: „Car s'il me manque de vie ou de talens pour établir la vérité, j'ai trop bonne opinion du genre humain pour ne pas m'assurer, qu'un jour la Nature aura ses vengeurs, qui rétabliront ses droits sur les débris du préjugé et de l'opinion“ (M I, 167). Das Mittel, die Wahrheit in ihre Rechte einzusetzen, ist nur das Experiment. Die Tatsachen seien in ihrer Beweiskraft allen Theorien weit überlegen, sagt HALLER an anderer Stelle (M I, 50); Voraussetzung allerdings sei die Reproduzierbarkeit der Experimente, die man auch bei andern nachprüfen solle (Vorrede E I, XIV.).

Seit Mitte der dreißiger Jahre führte er Versuche zur Hämodynamik aus (M I, 32), die ihn gleich zu Beginn in Gegensatz zu den Lehrmeinungen brachten, was zum Hauptmotiv seiner hämodynamischen Arbeiten wurde. Seine Entdeckungen seien derart neu, „que je n'espère point de les voir adoptées jusqu'à ce que d'autres anatomistes aient réitéré les mêmes expériences“ (M I, 32). Der große Gelehrte war also Zeit seines Lebens Rationalist und dem neuen Geiste naturwissenschaftlicher, induktiver Forschung verbunden, welcher heute wissenschaftliches, ja biologisches Denken überhaupt verkörpert. HALLER war ein Forscher moderner Prägung!

In Göttingen befaßte sich HALLER vorwiegend mit der Gefäßanatomie, deren Resultat die erwähnten, für die damalige Zeit überaus prächtigen Tafeln der Gefäße darstellen. Dadurch aber, daß er über die Form hinaus zur Frage der Funktion vorstieß, verlieh HALLERS Genie der Anatomie Leben; sie wurde zur *anatomia animata*. Mehr noch: Die Anatomie ist nach HALLERS Überzeugung Voraussetzung für die Physiologie. Er stellt fest, „ut vix quidquam nos in physiologicis scire persuadeat, nisi quae per anatomicos didicimus“ (Vorrede E I, p. II) („daß wir nach meiner Überzeugung in der Physiologie kaum etwas wissen, was wir nicht durch die Zergliederung gelernt haben“).

Ein solcher Geist weht uns aus HALLERS Werken entgegen. Es sei nun das Augenmerk dem Konkreten zugewandt.

A. Herz

Das Herz sucht seiner Natur nach keineswegs die Systole, die wie bei HARVEY die aktive Phase der Herzbewegung darstellt, auch nicht die Dilatation, welche

durch das einströmende Blut bedingt ist, sondern die absolute Ruhe (E I, 385–386). Mit HARVEY geht HALLER darin einig, daß die Systole die aktive Leistung ist und die Diastole das herzpassive Geschehen darstellt. Diese These HARVEYS war indessen keineswegs unbestritten. HALLER selbst erwähnt Forscher wie PECHLIN, PERRAULT, HAMBERGER (HALLERS ersten wissenschaftlichen Gegner) und LANGRISH¹⁷⁾, welche die Lehre verfochten, es gebe einerseits aktiv erweiternde, anderseits das Herzlumen verengernde Muskelfasern, deren gegensätzliche Tendenzen in rhythmisch alternativer Weise obenaus schwingen sollten. HALLER hat hier Klarheit geschaffen. Der adäquate Reiz für das Herz, das überhaupt reizbarste Organ, (E I, 465)¹⁸⁾, und damit die Ursache seiner Bewegung, ist das Blut: „Ea ergo auricula, ut summa irritabilis est, continuo postquam sanguinem recepit, contrahitur“ (E I, 401). („Da dieser Vorhof höchst reizbar ist, zieht er sich unmittelbar darauf zusammen, nachdem er mit Blut gefüllt worden ist“). An derselben Stelle wird die Reizbarkeit des Herzens als solche als die Ursache des Herzschlages bezeichnet. Natürlich kann der Blutreiz sich nur auf irritables Substrat auswirken. Obwohl HALLER sich in dieser These einig weiß u. a. mit LANCISI und SENAC¹⁹⁾, führt er zur Untermauerung eigene Beobachtungen und Experimente an.

Wird der rechte Vorhof vollständig von der Blutzufuhr abgeschnitten und von Blut entleert, so resultiert die sofortige und absolute Bewegungslosigkeit, während beide Kammern, wenn auch nur in verringertem Maße, weiterschlagen. Bei langsam progredientem Herzstillstand bewegt sich der rechte Vorhof am längsten, weil er am längsten durch zuffießendes Blut gereizt wird. Das ist auch der Grund dafür, daß die rechte Kammer länger schlägt als die linke. HALLER berichtet voll Stolz über das gelungene Experiment, im Gegensatz hierzu den linken Ventrikel länger schlagend erhalten zu haben, indem er den rechten von der Blutzufuhr abschnitt und von Blut entleerte. Einwände, ein vollständig blutleeres Herz zucke weiter, werden durch die Erklärung abgetan, das Herz als Muskel schlage eben weiter, solange sich der Blutreiz nicht vollständig verloren habe.

Auf dieselbe Art wird HALLER wohl HARVEYS Beobachtung erklärt haben, daß sich abgetrennte Herzteile isoliert weiterbewegen. Die wohlgeordnete Aufeinanderfolge der Vorhof- und Kammersystolen lassen sich nur durch die Tatsache erklären, daß sich die Herzhöhlen den Blutreiz weitergeben. Versuche zeigten, daß jede Flüssigkeit und sogar Luft, die ins Herz gebracht werden, die Kontraktion auslösen, und weiter, daß das Herz unabhängig von der „Seele“ schlägt, welche die willkürliche Muskulatur bewegt – dies brachte ihn in Gegensatz zu der Meinung GEORG ERNST STAHLs (1660–1734). Ebenso üben Frontal- und Kleinhirn keinen Einfluß auf den Herzschlag aus, während die Nerven immerhin die Herzaktion unterstützen (E I, 459 bis 488). Eine Restblutmenge kann nicht existieren; diese bedeutete ja einen ständigen Reiz. Außerdem wird

¹⁷⁾ PECHLIN (1644–1706), PERRAULT (1613–1688), HAMBERGER (1697–1755), LANGRISH (gest. 1759).

¹⁸⁾ Siehe zur ganzen Frage der Irritabilität die oben erwähnte Abhandlung von H. BUESS: Zur Entwicklung der Irritabilitätslehre (Anm. 2).

¹⁹⁾ LANCISI, GIOV. MARIA (1654–1720), der bekannte päpstliche Leibarzt; SENAC, JEAN-BAPTISTE (1693–1770), der Leibarzt von Louis XV., dessen Gedankengängen HALLER stark verpflichtet ist [„Traité du coeur“ (1749)].

deren Nichtexistenz durch eine sonderbare Argumentation bewiesen: Jeder Herzschlag müßte wieder den gleichen Blutrest zurücklassen; diese Reste müßten sich summieren und das Herz zum Platzen bringen (E I, 397 und 220). Allerdings ist HALLER der fehlenden Restblutmenge nicht ganz so sicher.

Durch die Lehre der Irritabilität mußte HALLER wohl zur These vom Blutreiz gelangen. Ein reizbares Organ fordert definitionsgemäß einen von außen kommenden Reiz. Daß dieser im Organ selbst entstehen könnte, wie FELICE FONTANA (1730–1805) im Jahre 1775, zwei Jahre vor HALLERS Tod, zeigte²⁰), war indessen für den großen Berner undenkbar. Seine Untersuchungen zur Ursache der Herzbewegung stellen die Automatie des Herzens erstmals klar heraus, und die Erklärung der Ursache seiner Bewegung kommt der Wirklichkeit viel näher als etwa jene BOERHAAVES.

Die Frage nach dem „*Warum*“ des Herzschlages ist beantwortet. Wie bewegt sich aber nun das Herz? Die Schilderung der Funktionsweise des Herzens nimmt in beiden Quellen einen breiten Raum ein. Die Systole wird durch eine Verkürzung des ganzen Herzens, Scheidewand und Papillarmuskeln inbegriffen (E I, 389), hervorgerufen. Dadurch werden sämtliche Durchmesser verkleinert, und das Blut wird ausgetrieben. HALLER beobachtet richtig eine systolische Lageveränderung der Herzspitze: Sie nähert sich der Basis und führt eine Bewegung aus, die aus nach rechts, nach oben und nach vorn gerichteten Vektoren zusammengesetzt ist, und schlägt im Gebiet der 5. und 6. Rippe an die Brustwand. Die Definition dieses „Herzschlages“ wird HARVEY zugeschrieben, doch steuert HALLER eine eigene mechanische Erklärung bei: Indem zur Zeit der Kammersystolen die Vorhöfe sich füllen, zwingt insbesondere der linke Vorhof, der hinten liegt und keinen Ausweichraum besitzt, die Kammern zur beschriebenen Bewegung (E I, 393 und M 1,129–131). Die Ursache des Herzspitzenstoßes liegt nach heutiger Auffassung in der spiraligen Anordnung der Muskelfasern.

Die zweite Bewegung des ganzen Organs, die richtig beobachtet wurde, ist durch die Atemexursionen des Zwerchfells bedingt: Bei der Inspiration wird eine Senkung, bei der Expiration eine Anhebung des Herzens beobachtet (E I, 135/136).

Seit der Entdeckung des kleinen Blutkreislaufes war die analoge Funktionsweise von linkem und rechtem Kammer-Vorhofsystem bekannt. HALLER ist indessen m. E. der Erste, der sie funktionell völlig verselbständigt und von zwei Herzen in einem spricht: „*Simillima enim duo systemata, duo quasi corda efficiunt, quibus per pulmonem sanguis commeatus intercedit*“ (E I, 410). („Denn diese beiden Systeme sind einander vollkommen gleich, und sie stellen gleichsam zwei Herzen dar; das Blut fließt über die Lungen vom einen zum andern.“) In modernen Schemata des Blutkreislaufes werden diese zwei Herzen gerne getrennt gezeichnet, verbunden durch das Wundernetz des Lungenkreislaufes!

Obwohl es eine alte Erkenntnis war, daß das Herz eine Einwegpumpe ist und insbesondere auch die Klappenfunktion den antiken Ärzten bereits wohlbekannt war, lohnt es sich doch, die analytische Schilderung der Herzfunktion bei HALLER zu verfolgen. Sie legt von der unermüdlichen Beobachtungs- und

²⁰) F. FONTANA, *Ricerche filosofiche sopra la fisica animale* (Florenz 1775) (zit. nach ROTHSCHEID [s. Anm. 10]).

Experimentiertätigkeit des Gelehrten beredtes Zeugnis ab. Wie überall, so will er auch auf diesem Gebiet nur gelten lassen, was sich bestätigen läßt. Leider unterläuft HALLER gleich zu Beginn ein verhängnisvoller Irrtum: Indem er die Herzteile in der Reihenfolge beschreibt, wie sie vom Blut durchströmt werden, beginnt er mit den *Hohlvenen*. Von diesen behauptet er, daß sie durch aktive Kontraktion mittels der in ihnen enthaltenen Fleischfasern (E I, 399) ihren Inhalt in den rechten Vorhof befördern. Davon ist HALLER überzeugt: „Il est donc certain, que le mouvement du coeur commence par la contraction de la veine cave, qui chasse le sang dans l'oreillette droite par de véritables pulsations... Je m'en suis convaincu“. (M I, 122. Diese Überzeugung wird in den *Elementa* aufrechterhalten.) Er ist ebenso sicher, daß diese Kontraktionskraft ein integrierender Bestandteil dieser Venen ist (und auch der Lungenvenen, welche in analoger Weise tätig sind); sie sei nicht etwa zu verwechseln mit einem Einfluß der Atmung oder mit einer Repulsion des Blutes bei der Vorhofkontraktion (E I, 399).

HALLER stand noch mitten im Streite, ob die Herzdilatation ein aktiver oder passiver Vorgang sei, und lehnte als Verfechter der einzig aktiven Systole infolgedessen jede Möglichkeit einer Saugkraft des Herzens ab, sodaß ihn die heutige Erklärung der scheinbaren Hohlvenenkontraktion erstaunen würde: Die Kammersystole zieht die Ventilebene der Basis spitzenwärts, sodaß tatsächlich eine Art Sog entsteht und der venöse Einstrom während der Kammer-systole am größten ist. Die Vorhöfe füllen sich und die vorher durch deren Kontraktion kurz gestauten und dilatierten herznahen Venen werden entlastet und verengert. Kaltblütler, das bevorzugte Forschungsobjekt HALLERS, besitzen bekanntlich eine gemeinsame, zum Vorhof gehörige Einmündungsstelle, den Sinus venosus, von dem die Herzkontraktion ihren Ausgang nimmt. Davon hat sich HALLER offenbar verleiten lassen, die Hohlvenenmündungen ins Herz zu integrieren.

HALLERS Verdienst ist die – meines Wissens – erste Beschreibung der rhythmischen Aktion der Hohlvenen – die unrichtige Erklärung sei ihm nicht verargt. Die Stauung des venösen Rückflusses während der Vorhofsystole war HALLER durchaus bekannt. Der Druck des Venenblutes und des Blutes im Vorhof, schreibt er, halten sich während der Vorhofkontraktion ungefähr die Waage (E I, 401).

Den weiteren Weg des Blutes zeigt HALLER etwas später auf. Durch die Aktion des rechten Vorhofes füllt das Blut normalerweise die rechte Kammer an, die es gleich darauf in die Lungen befördert. Die Lungenvenenkontraktion analog den Hohlvenen – füllt den linken Vorhof, der es an die linke Kammer weitergibt. Diese wirft ihren Inhalt in die Aorta aus.

Die Art der Systolen der Kammern ist verschieden. Diejenige des rechten Ventrikels ist richtig beobachtet: Sie nimmt ihren Ausgang von der Basis und geht sodann auf Septum und Wände über. Beim linken Ventrikel ist HALLER das Opfer der falschen Interpretation einer Beobachtung, daß sich beim Tod die Spitze des linken Ventrikels am längsten bewegt: Dieser Stelle muß somit das Bewegungsprinzip des linken Ventrikels innewohnen; die Verkürzung nimmt hier ihren Ausgang und greift dann auf Septum und basisnahe Wandgebiete über (M I, 125–129). Die chronologische Beziehung der einzelnen Phasen zueinander faßt HALLER nicht anders als HARVEY auf; doch kommt bei HALLER noch die aktive Venenphase hinzu, die sich gleichzeitig mit den Ven-

trikelsystolen abspielt. Er sieht sich genötigt, die These, daß sich Vorhöfe und Kammern abwechselungsweise je synchron kontrahieren, gegen LANCISI (Anm. 19) und NICHOLLS (1699–1778) zu verteidigen (E I, 416–421).

Wenden wir uns nun den *Herzklappen* zu. In der Frage der Durchlässigkeit geschlossener Klappen geht der große HALLER²¹⁾ mit GALEN einig. Er ligierte die Aorta und beobachtete, daß das Blut rückläufig durch geschlossene Klappen drang und verneinte deshalb die absolute Undurchlässigkeit geschlossener Klappen (M I, 133). Er postulierte also eine physiologische Klappeninsuffizienz auf Grund eines Experimentes, das doch einen allzu rigorosen Eingriff ins vitale Geschehen bedeutete. Doch war diese Insuffizienz für Haller eher virtuell; sie beeinträchtigt für ihn die Richtung des Blutstroms in keiner Weise. Er versuchte die physikalisch-mechanischen Vorgänge der Klappenbewegungen zu analysieren. Fast sieht man den Iatrophysiker in HALLER durchbrechen, wenn man das „Gesetz“ liest, das er aufstellt, um die Öffnung der Klappen zu erklären: „Omne enim fluentum in flexilem canalem receptum agit secundum lineas, ad axin sui canalis perpendicularares“ (E I, 402). („Jede Flüssigkeit in einem nichtstarrten Rohr übt darauf eine Wirkung auf Linien (Vektoren!) aus, die auf der Achse des Rohres senkrecht stehen.“) Lassen wir diese auf die Achse des Kanals senkrecht stehenden Strömungslinien gelten, wenn wir uns vorstellen, wie gleich nach dem Beginn der Kammerdiastole der Blutstrom aus dem Vorhof in die Kammer einsetzt, die Segel im Bogen kammerwärts bewegt und sich dann radiär ausbreitet. So gehen wir auch weiterhin mit HALLER einig: „Sed ii radii in exemplo unique in anulum valvulosum ducunt, eoque impulso, ad cordis parietes“ (E I, 402). („Diese Kraftlinien führen im Beispiel (Tricuspidalklappen) auf den Klappenring und dann durch denselben Impuls auf die Wände der Kammer.“) Auf diese Weise legen sich die dreizipfligen Klappen während der Vorhofsystole an die Wände der Kammer. Das gilt auch für die Mitralklappen und ebenso für die Taschenklappen (im folgenden sind die Pulmonalklappen gemeint): „Ergo sanguis... inter valvulas sigmoideas iter sibi agerit; eas flexiles membranulas pressione sua, quae ab axi undique ad arteriae ambitum perpendicularis est, ad arteriae parietes adprimit, et caveas earum velares evacuat“ (E I, 407). („Derart bahnt sich das Blut zwischen den sigmaförmigen Klappen (Taschenklappen) einen Weg; es preßt die biegsamen Membranen durch seinen Druck, der überall auf der Achse und dem Umfang der Arterie senkrecht steht, an die Arterienwand an und entleert die segelförmigen Ausbuchtungen völlig.“)

Der Druck des ausgetriebenen Blutes entleert also die Taschen und preßt die Membranen an die Pulmonalis- bzw. Aortenwand an. Interessanterweise müssen nachher aber die Mündungen der Taschen offen stehen, um eine Erklärung des Aorten- und Pulmonalklappenschlusses zu ermöglichen! Bei Beginn der Kammerdiastole verengert sich die Aorta und treibt ihren Inhalt weiter: die herzwärts gerichtete Kraftkomponente trifft auf die bereits offenen Taschenmündungen, füllt sie mit Blut, so daß die Membranen gespannt werden und sich zu einem wirklichen, geschlossenen Ventil vereinigen. Diese Auffassung

²¹⁾ „Der große HALLER“ war schon zu seinen Lebzeiten in der weiten Welt wie in Bern ein Begriff. Allein der Prophet gilt nichts in seiner Heimatstadt: HALLERS Mitbürger blinzelten dazu, denn sie bezogen das Beiwort nur auf seine ungewöhnliche Körpergröße (ADOLF HALLER, p. 105).

sei durch Experimente bekräftigt worden, welche das Gegenteil der Meinung SENACS, die Klappen seien reizbar, ergeben hätten.

Die interessante Stelle sei im Wortlaut wiedergegeben (E I, 414): „Quando enim parietes aortae arctantur, et sanguinem arteriae contentem propellunt, offendit idem, in directione ad cor ducente, aperta ostia caecorum sinuum valvulorum, eaque subit, replet, valvulorum mobilia vela a parietibus dimovet, et versus axin urget, donec tres expansae valvulae conjunctae arteriam integre claudant, et regressum sanguinis in cor omnino intercipient, . . .“ („Denn wenn sich die Wände der Aorta verengern und das Blut, das in ihr enthalten ist, weiter forttreiben, so trifft dieses in der Richtung, die zum Herzen führt, die Mündungen der blinden Klappenbuchten offen an, tritt hinein, füllt sie an, schiebt die beweglichen Segel der Klappen von den Wänden ab und treibt sie gegen die Achse, bis die drei Klappen sich aneinanderlegen, die Arterie vollkommen verschließen und den Rückstrom des Blutes ganz unterbrechen.“)

Den Schluß der Segelklappen schildert HALLER ebenso minutiös. Hier findet sich indessen nur wenig Originelles.

Die geschilderte Funktionsweise läßt HALLER zur logischen Annahme von Pendelblut gelangen, welches rückläufig in die benachbarte Herzhöhle zurückströmt, in der Zeit, welche die Klappen brauchen, bis sie geschlossen sind. Es dauerte aber mehr als 130 Jahre, bis L. KREHL 1891 die Blutwirbel beschrieb, die während der Kammersystole die Taschen gefüllt halten, sodaß die freien Ränder der Klappen frei im Lumen flottieren (Anm. 9). Der geringste distale Drucküberschuß ist dadurch imstande, die Klappen momentan zu schließen. Pendelblut existiert auch beim Schlusse der Segelklappen nicht. Nach heutiger Auffassung legen sich auch die Segel, weil sie durch die Sehnenfäden daran gehindert werden, nicht an die Kammerwände, sondern bilden einen Trichter, sodaß der Kammerdruckanstieg die Schließungsränder vereinigt, bevor ein Reflux stattfindet.

Wenn auch HALLERS Untersuchungen der Klappenfunktionen in der Sache keine wesentlichen Fortschritte gebracht haben – Prinzip und Zweck waren ja zumindest bereits den hellenistischen Ärzten bekannt –, so schuldet ihm die Nachwelt doch großen Dank für die Methodik naturwissenschaftlichen Forschens, mit der er die alten Befunde ein für allemal überzeugend bestätigte.

Eine sehr interessante Beobachtung HALLERS sei nicht verschwiegen, der er allerdings nur eine geringe Bedeutung beimißt, und die er nur an einer Stelle vermerkt (M I, 131): Während einer (wohl unvollständigen) Ligatur der Aorta hätten Zahl und Stärke der Herzpulsationen zugenommen. Erhöhter Widerstand gegen den Blutstrom regte also das Herz zu größerer Kraftentfaltung und zur Frequenzsteigerung an. HALLER hätte bei genauerem Zusehen das Gesetz entdeckt, für welches seine Zeit wohl noch nicht reif war. Dieses Gesetz, nach welchem bei Erschwerung des Blutauswurfs aus dem Herzen die aktive Kraftentfaltung in den Herzmuskelfasern spontan ansteigt, haben FRANK und STRAUB zu Beginn unseres Jahrhunderts formuliert, und es wurde dann von STARLING mittels seiner Herzlungenmaschine bewiesen.

Bei der Besprechung der *Herzkraft* geht HALLER der Reihe nach auf die Meinungen und Berechnungen berühmter Vorgänger und Zeitgenossen mit großer Skepsis und vielen Einwänden ein. Er läßt auch die Berechnung von DANIEL BERNOULLI nicht gelten, weil dieser den Strömungswiderstand, der doch sehr ansehnlich sei, nicht miteinbezogen habe. HALLER hat den physikalischen Sinn dieser Berechnung offensichtlich nicht begriffen. Er steuert indessen auch keine besseren Angaben über die Herzkraft bei, weil es unmöglich sei, sowohl

Schlagvolumen als auch Dauer der Systole – wozu wohl? – exakt anzugeben. Die Kräfte des Herzens seien wohl sehr ansehnlich, würden doch größte Gewichte durch den Herzschlag rhythmisch gehoben und sei dieser doch auch möglich gegen den atmosphärischen Druck mit seinen 40000 Pfunden; doch glaubt er, daß sich schwerlich bestimmte Zahlen in Pfunden und Füßen (1 Pfund = ca. 500 g; 1 Fuß = ca. 30 cm) angeben lassen (E I, 457–459). Exaktes physikalisches Denken stand im 18. Jahrhundert eben erst in den Anfängen.

Nach diesen Ausführungen über das Herz wenden wir unser Augenmerk den Kapiteln über die Gefäße zu.

B. Gefäße

Der Unterschied der beiden Gefäßarten liegt für HALLER in zwei Punkten begründet. Erstens besitzen die Venen keine zirkulären „Fleischfasern“ wie die Arterien (E I, 64 und 120f.), und sie bilden im Gegensatz zu den Arterien Netze. Das ist der Hauptunterschied. Unter diesen Netzen will HALLER nicht etwa die bekannte Verflechtung makroskopisch sichtbarer Venen verstanden haben, sondern er meint damit eindeutig das Kapillarnetz, denn die Gefäße dieses Netzes haben den Durchmesser eines roten Blutkörperchens (M I, 6–7). Die Kapillaren sind für ihn demnach kleinste Venen („minimae venulae“). Der Grund dafür liegt wohl darin, daß das Blut hier wie in den Venen mit regelmäßiger Geschwindigkeit fließt (s. unten). Zweitens liegt der Unterschied im Blut. Hier allerdings legt sich HALLER nicht fest. Arteriell und venöses Blut sei nicht wesentlich verschieden in Farbe oder Gerinnbarkeit, sondern die Andersartigkeit müsse entweder in der Proportion Blutkügelchen – Flüssigkeit oder in der Flüssigkeit selbst liegen (M I, 30–31) – eine Vorahnung der Sauerstoffdifferenz?

Mit HALLER besprechen wir nun die hämodynamischen Erkenntnisse zuerst im arteriellen, dann im venösen Kreislauf.

a) Arterien

1. Puls

HALLER formuliert ein „erstes Gesetz“ der Blutbewegung in den Arterien: „D’abord je me suis assuré, que le sang poussé par le coeur dilate les artères et forme ce battement qu’on appelle le pouls“ (M I, 33). Die Frage, auf welche Weise diese Arterien dilatation zustande kommt, läßt sich nicht durch die konische Form der Arterien (longitudinal gesehen) erklären, wie es SAUVAGES und HALES tun. Während HALLER in seinen mémoires noch an dieser konischen Bauweise der Schlagadern festhält, gibt er in den Elementa diese Ansicht auf zugunsten der Überzeugung, das Arteriensystem bestehe aus aneinandergereihten Zylindern mit abnehmenden Durchmessern. Doch schon in den mémoires geht er nicht mit der These einig, daß die konische Form einen derart hohen Widerstand hervorrufe, daß ein Teil der Herzkraft seitlich ausweiche und die Gefäßwände anhebe.

Der Puls entsteht vielmehr dadurch, daß eine durch verschiedene Faktoren verlangsamte Vorderwelle durch eine hintere Welle eingeholt wird. Die Energie der Hinterwelle, die beim Anprall frei wird, weitet einerseits die Arterie aus, andererseits beschleunigt sie die Vorderwelle. Diese wird zu einer stärkeren Hinterwelle und gibt ihrerseits an einen distalen Teil des Blutstroms und an die Wand Energie ab (E II, 227–229 und E I, 447, Anm.). Man kann den Blutstrom,

so oft man will, unterteilen, stets wird ein vorausgehender Teil von einem nachfolgenden beschleunigt.

Für die ganze HALLERSche Theorie der Ätiologie des Pulses sei folgende Stelle angeführt (E II, 240): „In quot enim lubuerit, columnas diviso arteriarum systemate, quaelibet columna anterior lentius progrediens, a nova, quae insequitur, urgebitur. Ab eo vero impulsu undae nuperae in priorem, pulsus potissimum nascitur.“ (Denn man mag somit das Schlagadersystem in so viele Säulen, wie man will, einteilen, stets wird eine vordere, langsamer fließende Blutsäule von einer neuen, welche unmittelbar nachfolgt, angestoßen werden. Ausschließlich durch diesen wirklichen Impuls einer neueren Welle auf die vordere entsteht der Puls.)“ Der Zeitpunkt dieses Geschehens ist eine Funktion des Herzabstandes. Dagegen nehmen die Pulsexkursionen mit der Distanz vom Herzen ab, was durch die größere Dehnbarkeit der herznahen Arterien zustande kommt, während periphere Schlagadern muskelstärker sind (E I, 72).

HALLER erklärt also die pulsatorische Erweiterung der Schlagadern durch die momentane Zunahme eines Seitendrucks, die durch den systolischen Impuls des Herzens hervorgerufen wird. Diese Arteriadilatation läuft peripherwärts ab, weil die Herzkraft durch eine Art Kettenreaktion in der arteriellen Blutsäule nach der Peripherie übertragen wird.

Wie groß ist die Geschwindigkeit dieser Kettenreaktion? Digitale Versuche, die Pulswellengeschwindigkeit zu messen, sind untauglich; sie führen vorerst zur irrümlichen Annahme, der Puls trete an allen beliebigen Stellen zur gleichen Zeit auf (E I, 447 und M I, 36). Die theoretischen Überlegungen zur Pulsgenese sind aber derart zwingend, daß dieser Befund der insuffizienten Meßmethodik zugeschrieben werden muß. Die Pulsquelle läuft zu schnell über die Arterien hinweg, als daß man von Hand zeitliche Differenzen an verschiedenen Schlagadern feststellen könnte (E II, 209). Eine überschlagsmäßige Berechnung der Größe der Pulswellengeschwindigkeit ergibt ca. 150 Fuß/min (E II, 209), umgerechnet also ungefähr 45 m/min, d. i. 75 cm/sec. Der tatsächliche Wert beträgt 4–6 m/sec. Der Puls ist ein getreuer Spiegel des Herzschlages: „Pulsus in universum est mensura virium, quas cor in promovendo sanguine impendit“ (E II, 247). („Der Puls ist allgemein das Maß der Kräfte, die das Herz zur Fortbewegung des Blutes aufwendet.“)

Es folgt eine Schilderung der verschiedenen Pulsqualitäten, die im gesunden Organismus und bei krankhaften Zuständen vorkommen, mit ihren physiologischen und pathophysiologischen Grundlagen, wie sie in keinem modernen Lehrbuch wohldefinierter und wirklichkeitsgetreuer stehen könnte (E II, XIII bis XIX, 247–271). Die Darstellung hat referierenden Charakter; es sind indessen auch eigene Erkenntnisse verwertet. Als Beispiel sei die Stelle angeführt, wo HALLER feststellt, ein *pulsus frequens et magnus* bedeute wirkliche Leistungssteigerung des Blutkreislaufes, während ein *pulsus frequens et parvus* nur die Vermehrung der Herzarbeit anzeige – eine grundlegende Erkenntnis (E II, 254). Denken wir nur an die Leistungssteigerung des Sportlerherzens durch Erhöhung des Minutenvolumens, die aus Frequenzsteigerung und Zunahme des Schlagvolumens resultiert, und andererseits an die alleinige Frequenzzunahme des versagenden Herzens, das den Blutkreislauf nicht beschleunigt, sondern vermindert!

Zusammenfassend stellen wir fest, daß HALLER die alte Beobachtung von der pulsatorischen Erweiterung der Schlagadern (GALEN) in ätiologischer Hinsicht genau untersucht hat und zu einer Pulslehre gelangt ist, die im Wesent-

lichen noch heute Gültigkeit besitzt. Neu wissen wir heute lediglich, daß die Pulswelle aus eigener Kraft über die Gefäße hinläuft und so die Bewegung weiterträgt.

Es standen HALLER freilich bei der Abfassung der Kapitel über den Puls ausgezeichnete Unterlagen zur Verfügung. Er führt einmal JOH. RUD. STAEHELINS²²⁾ Dissertation bei DANIEL BERNOULLI, betitelt „de pulsibus“ (Basel 1741), an. STAEHELIN-BERNOULLI erkannten als erste, daß für den Puls der Seitendruck verantwortlich ist, der seinerseits durch die großen peripheren Widerstände hervorgerufen wird. Mit BORELLI sahen sie indessen die Ursache dafür in der Kontraktion der Wandmuskulatur. HALLERS vorzüglichste Quelle war aber SAUVAGES' Übersetzung von HALES' „Haemostatics“²³⁾, darin besonders die Abhandlung „Sur l'inflammation“ von DE SAUVAGES selber, und die „Anatomico-hydraulicae observationes de arteriarum pulsatione“²⁴⁾ des gleichen Verfassers. Zu SAUVAGES' Pulslehre steuerte HALLER wenig Neues bei. Sein Verdienst ist, sie in einen größeren Zusammenhang gestellt und den Zeitgenossen wie der Nachwelt übermittelt zu haben.

Der Erweiterung der Arterien folgt die Konstriktion, die unmittelbar der Pulswelle folgt und die Ursache dafür ist, daß die Blutströmung auch während der Herzsystole weiterbesteht (BORELLI). HALLER ringt sich sichtlich zur These durch, diese Schlagaderverengung sei durch die Elastizität der Wand bedingt.

Im Zusammenhang mit dem Schluß der Aortenklappen weiß er nicht, ob allein die Elastizität die Aorta verengert oder ob dies durch Muskelkraft geschieht [„sive id ab elatere solo fiat, sive a muscosa vi“ (E I, 414)]. An einer andern Stelle billigt er seinen Gegnern sogar zu, es sei wahrscheinlich, daß sich eine aktive Faserverkürzung abspiele (E I, 440). Doch ist kraft der darin enthaltenen Überzeugung und Sicherheit der Aussage auf folgenden Satz das größte Gewicht zu legen: „Ita ex ipso suo elatere arteriarum membranae paulo post priorem statum, nativamque laxitatem recuperant, quae systoles arteriosae species et, a muscosa diversa, ipsisque arteriis communis, quae fibris carnis destituuntur“ (E II, 237). („So gewinnen kurz darauf die Membranen durch ihre eigene Elastizität den vorherigen Zustand, die ursprüngliche Entspannung wieder. Dieser Vorgang ist eine Art Arteriensystole, die von einer Muskelkontraktion verschieden und sogar jenen Arterien eigen ist, die Muskelfasern entbehren.“)

Diese Arteriensystole wird demnach nur durch die Elastizität hervorgerufen; sie wirkt auch dort, wo keine Muskelfasern nachgewiesen werden können. Daß die Blutströmung in dieser Weise durch die Arterien gefördert wird, ändert nichts an der Tatsache, daß (im arteriellen Gefäßgebiet) das Herz ihre alleinige Ursache ist, indem die Gefäßwände nur diejenige Energie abgeben können, die ihnen gleich zuvor durch das Herz mitgeteilt worden ist (E II, 206). Die Speicherung der systolischen Herzarbeit in den herznahen Arterien zur Blutbeförderung während der Systole wird heute als Windkesselfunktion bezeichnet. Diese Bezeichnung geht auf E. H. WEBER (1795–1878) zurück (Anm. 13).

²²⁾ JOH. RUD. STAEHELIN, *Dissertatio physico-medica de pulsibus*. Diss. med. (Basel 1741).

²³⁾ HALES, *Haemostatique ou la statique des animaux*, ins Französische übersetzt und mit Anmerkungen versehen von F. B. DE SAUVAGES (Genf 1744). — Im gleichen Band: F. B. DE SAUVAGES: *Sur l'inflammation*, p. 201–283.

²⁴⁾ F. B. DE SAUVAGES, *Anatomico-hydraulicae observationes de arteriarum pulsatione*. *Nova acta physico-medica Acad. Caes. Leopoldino Carolinae Nat. Curios.*, P. 128–141 (Nürnberg 1757.)

2. Blutdruck

Wenn HALLER von Blutdruck spricht, ist es vorallem der Seitendruck, die Kraft, welche die Hinterwelle auf die Gefäßwandung ausübt und diese erweitert, indem sie auf die Vorderwelle auftrifft. Der Blutdruck wird richtig in Abhängigkeit von der Blutströmungsgeschwindigkeit gesehen: Dieser ist er indirekt proportional. Andere Ursachen dieses Druckes sind der periphere Widerstand und die Richtungsänderungen der Gefäße (E II, 224 ff.). HALLER unterscheidet hier nicht genau zwischen dem rhythmischen, pulsatorischen Seitendruck, der Ursache unseres diastolischen Blutdruckes, und dem hydrodynamischen Druck auf die Seiten, wie er beim Strömen des Blutes auch während der Diastole des Herzens auftritt. Das Maß dieses Seitendruckes läßt sich nicht genau angeben, ebenso wie die Herzkraft als synonyme Begriff für den systolischen Blutdruck nicht definiert werden kann. Er ist sicher kleiner als die Herzkraft; ein eventuelles Maß gäbe die diastolisch von der Arterie geförderte Blutmenge (E II, 333). Der Druck des Blutes ist in Aorta und Vena cava genau gleich groß. HALLER hält ROBERT WHYTT (1714–1766) Mangel an gesundem Denken vor, wenn er das Gegenteil behauptet; nur derselbe Druck garantiere das gleiche Zeitvolumen (E II, 342–344). Daß nicht der absolute Druck, sondern nur das Druckgefälle das fließende Volumen bestimmt, war HALLER nicht bekannt. Es lag hier eben wieder ein rein physikalisches Problem vor, in dem er sich nicht zuhause fühlte.

3. Blutströmung

α) Ursache

Als Ursache der Blutströmung läßt HALLER mit HARVEY allein das Herz gelten. Gegenüber Gegnern nimmt er hier eine eindeutige Stellung ein. Einzige Hilfe ist die Extremitätenmuskulatur, welche die venöse Blutbewegung unterstützt (s. unten).

β) Art

Welcher Art ist nun die Blutströmung? Daß sie in den Arterien vom Herzen weg in die Peripherie gerichtet ist, während das Blut in den Venen zum Herzen zurückströmt, ist HALLER von vornherein klar. Doch er will HARVEYS Experimente selber bestätigt haben, so wie er sich überhaupt veranlaßt sieht, die Lehre vom Blutkreislauf in einem ganzen Abschnitt neu zu bekräftigen, was in einer siebenseitigen begeisterten Verteidigung der Ehre HARVEYS gipfelt (ganzer Abschnitt: E I, 217–250).

Die Blutströmung ist laminär: „Les globules rouges nagent, également distribués dans la sérosité sans aucune confusion et se meuvent sur des lignes droites parallèles, sans se frotter ni se mêler, sans aucun mouvement de rotation. . .“ (M I, 50. S. auch M I, 85/86; M 2, 236 und E II, 323). HALLER gibt MALPIGHI (1628–1694) die Ehre, diese laminäre Strömung erstmals beschrieben zu haben; auch schreibt er MALPIGHI die Beobachtung zu, daß die Geschwindigkeit der Blutkügelchen – unserer Erythrozyten – von zentral nach parietal im Gefäß abnimmt, weil zentral die Herzkraft unbeeinflusst (durch Reibung) wirkt (M I, 85; M 2, 264; E II, 323). Arteriell erfolgt die Strömung rhythmisch in pulsatorischen Wellen.

γ) Geschwindigkeit

Für die Geschwindigkeit des Blutstromes in den Schlagadern gibt HALLER nach KEILL und HALES ca. 50 Fuß (ca. 16 m) pro Minute an, will sich jedoch

auch hier nicht festlegen: Die Beobachtung sei wohl möglich, nicht aber die Messung (E II, 262). Nichtsdestoweniger leuchtet HALLERS mathematische Begabung auf, wenn er die Relation von arterieller zu venöser Blutströmungsgeschwindigkeit als umgekehrtes Verhältnis der Durchmesser (heute: Querschnitte) angibt und auf die richtigen Faktoren 2 oder 3 kommt (M 1, 81 und E II, 342).

Aufs Genaueste wird die Frage untersucht, wie sich diese Blutströmungsgeschwindigkeit verhält. Einerseits ist es HALLER klar, daß sie gegen die Peripherie immer mehr abnimmt, um in den Kapillaren (HALLER: kleinste Venen) den niedrigsten Wert zu erreichen, und daß sie sodann in den Venen herzwärts stets wieder zunimmt (E II, 178 und 324; u. a.), wie es auch in Wirklichkeit der Fall ist. Der Grund dafür ist die von ihm und von andern vor ihm gewonnene Einsicht von der Kegelfigur des ganzen Gefäß-Systems. Die Spitze des Kegels soll man sich in den Gefäßmündungen am Herzen vorstellen, während die Peripherie die Basis bildet. Dem Bild liegt die Tatsache zugrunde, daß die Summe der Astquerschnitte immer größer ist als der Durchmesser des Stammes, aus dem die Äste entspringen²⁵). Um das Zeitvolumen konstant zu halten, muß demnach die Strömungsgeschwindigkeit abnehmen. Dies wird durch ein Experiment an einem physiologischen Röhrenmodell gezeigt:

„Hinc in canale amplo, qui cum Augusto canali communicat, velocitates sunt in utroque canali, in ratione orificiorum inversa (ORLOV). Hinc in vase ramato, per cuius truncum et ramos aqua a vi emboli agitur, etsi ramorum lumina summam trunci lumine majorem constituunt, tamen de ramis omnibus nihilo plus affluit, quam de trunco, etsi ampliores sunt, et in ramis dilatatis, in experimento, celeritas effluentis liquidi decrevit“ (E II, 176).

(„Bei einem geräumigen Kanal, der in einen Kanal anderer Weite überleitet, verhalten sich die Geschwindigkeiten in beiden Kanälen umgekehrt wie ihre Öffnungen (ORLOV). Wenn man folglich Wasser mittels eines Stempels durch ein verästeltes Gefäß treibt, fließt trotz der Tatsache, daß die Lumina der Äste in ihrer Gesamtheit einen größeren Raum als das Lumen des Stammes darstellen, aus allen Ästen nicht mehr als aus dem Stamme aus, auch wenn sie geräumiger sind, und bei einem Experiment, in dem die Äste dilatiert waren, nahm die Geschwindigkeit der ausfließenden Flüssigkeit ab.“)

Außerdem wird die Geschwindigkeit durch den Strömungswiderstand herabgesetzt. Hier bezieht sich HALLER auf KEILL, HALES, LEEUWENHOEK, WHYTT und MALPIGHI, und er stimmt überein mit deren Ansichten über das Maß dieser Geschwindigkeitsverminderung. Durch eigene Beobachtungen gezwungen, muß der Gelehrte andererseits zugeben, daß für ihn das Problem nicht gelöst ist: „Fuerunt denique multa exempla et celerioris in minimis venulis fluenti, et demum constantioris“ (E II, 196). („Es gab endlich viele Beispiele sowohl eines rascheren als auch konstanteren Flusses in den Kapillaren.“) Er gerät in den Zwiespalt zwischen anerkannter Theorie und gegenteilig ausgefallenem Ergebnis des Experimentes. Es muß also Faktoren geben, welche der Strömungsverlangsamung entgegenwirken. Solche will er für das Kapillargebiet darin finden, daß hier das Gesetz der Kegelfigur umgekehrt gelte (hier war wohl der Wunsch des Gedankens Vater) und daß durch die Glätte der Wände die Reibung (· · · Widerstand) kleiner sei, sodaß im Kapillargebiet andere Gesetze gelten.

²⁵) BETHE-BERGMANN-EMBDEN-ELLINGER, Hdb. d. norm. u. path. Physiologie, VII/2, 1215: „Der Gesamtquerschnitt der Strombahn erweitert sich durch Gefäßverzweigungen immer mehr und verengert sich dann wieder bis zur Einmündung der Venen ins Herz.“

HALLER kommt in dieser Frage zu keinem Urteil: Einerseits müsse man wirkliche Faktoren anerkennen, welche die Blutströmungsgeschwindigkeit herabsetzen, andererseits sei in Wirklichkeit deren Abnahme höchstens gering und bei weitem nicht so groß, wie die Theorie fordert (E II, 195–198)²⁶⁾.

Geradezu frappant ist die Tatsache, daß die moderne Physiologie tatsächlich die Gesetze für die Blutströmung in den Kapillaren modifiziert: Die Viskosität des Blutes nimmt hier um die Hälfte ab, was nach dem POISEUILLESchen Gesetz den halben Druckverlust und damit die halbe Geschwindigkeitsabnahme bedeutet. Noch erstaunlicher ist die heutige Erklärung des Phänomens: „Die Ursache dafür scheint darin begründet zu sein, daß die Erythrozyten im Axialstrom fließen und sich wie eine solide Säule nur am ebenfalls fließenden Plasma reiben, nicht an der stillstehenden Gefäßwand“²⁷⁾.

HALLER hat diese Einsicht beinahe expressis verbis vorausgenommen! Im übrigen wurden seine Beobachtungen wohl durch eingriffbedingte Gefäßdilatationen gestört, so daß nach dem Gesetz von POISEUILLE die Strömungsgeschwindigkeit mit dem Quadrat der Gefäßerweiterung lokal zunahm.

δ) Strömungswiderstand

„Enormis est, quam tot arteriae cordi opponunt resistentia“ (E II, 172). („Riesengroß ist der Widerstand, den so viele Schlagadern dem Herzen entgegensetzen.“) Diese resistentia, der Strömungswiderstand, wird aufgeteilt in ein äußeres und ein inneres Reiben. Die äußere Reibung an der Wand entsteht dadurch, daß das fließende Plasma („Flüssigkeit“) an der stillstehenden Gefäßwand reibt; vorallem aber sind es die Korpuskeln des Blutes, welche für die Reibung verantwortlich sind. Obwohl laminäre Strömung herrscht, stoßen Blutkügelchen an die Wand und von ihr ab, sodaß sie den Lauf weiterer Erythrozyten stören und diese allenfalls an die Wandung lenken. Die äußere Reibung ist somit abhängig von der Zahl wandständiger Teilchen und damit von der Totalfläche aller Gefäßwände, nimmt also zu mit der Abnahme des Durchmessers (Querschnitts) des einzelnen Gefäßes. Demnach wird der Reibungswiderstand in den kleinsten Gefäßen sehr stark vergrößert (HALES). Dafür wird auch eine praktische Erfahrung des täglichen Lebens herangezogen: Die Röhrenmeister hätten schon lange gemerkt, daß die „verzögernde Reibungskraft“ in sehr engen Röhren unglaublich anwachse. Die äußere Reibung ist zweitens abhängig von der Länge der Gefäße (übernommen von DESAGULIERES 1683–1743, SAUVAGES und andern).

Die zweite Komponente des Strömungswiderstandes ist die innere Reibung. Mit dem Totalwiderstand steht sie in direkt proportionaler Funktion. Sie entsteht durch verschiedene Vorgänge. Einmal reiben sich die Blutbestandteile aneinander, dann ziehen sich die Erythrozyten gegenseitig an (Adhäsion?). Drittens wird die Strömung durch das erwähnte Abprallen der roten Blutkörperchen von der Wand gestört, und der vierte Punkt ist die Tatsache, daß sich die Korpuskeln an die Wände hängen (Kapillarität?). Die innere Reibung können wir also der heutigen Viskosität gleichsetzen, die HALLER et was gesucht, beinahe sophistisch, erklären will (für diesen ganzen Abschnitt s. E II, 178–184, 272–281).

²⁶⁾ Nach BETHE-BERGMANN beträgt die Stromgeschwindigkeit in der Aorta mehrere hundert mm/sec, in den Kapillaren nur noch Bruchteile eines mm/sec.

²⁷⁾ REIN-SCHNEIDER: Physiologie des Menschen, 99 (Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956).

Wenn wir versuchen, HALLERS Aussagen in eine Formel [1] zu bringen, so sind wir überrascht. Der Strömungswiderstand sei R , die Viskosität η , die Länge des Gefäßes L :

$$[1] \quad R = \frac{\eta \cdot L}{r^2 \pi} \cdot \text{konst.}$$

$$[2] \quad R = \frac{\eta \cdot L}{r^4 \pi} \cdot \text{konst.}$$

Die danebengesetzte Formel [2] gilt heute! Ein Vergleich zeigt, daß HALLER nur die mathematische Genauigkeit fehlte, daß er aber grundsätzlich zur richtigen Erkenntnis gelangt war.

4. Gefäßlumen

Wenn HALLER zur Frage der Gefäßweite schreibt: „Les artères sont entièrement dépourvus de toute force contractive, et le sang se meut à travers les vaisseaux de cette classe, comme si c'étaient autant de tuyaux de verre“ (M 2, 236), dann gilt das nur für die Arterien der Kaltblütler, an denen HALLER die meisten Experimente ausgeführt hat (und für die Venen). An dieser Auffassung halten auch die *Elementa* fest (E I, 64; E II, 210). In den *Mémoires* wird verneint, daß sich die Arterien in ihrer Weite ihrem Inhalt anpassen (M 1, 8/9; M 2, 237). Es gibt infolgedessen halbleere Gefäße, eine Ansicht, die in den *Elementa* völlig verlassen ist. HALLER gibt jedoch in den *Mémoires* bereits zu, daß die Warmblütlerarterien Konstriktionskraft besitzen (M 1, 138) und spricht von Arterien Dilatation (M 2, 237) und Lumendifferenzen unter Temperatureinflüssen (M 1, 148–149).

Der Grund dieses Unterschiedes zwischen Warm- und Kaltblütlern liegt darin, daß bei Poikilothermen auch in vielfachen Untersuchungen keine „roten Fleischfasern“ (Muskelfasern) nachzuweisen waren, während die Homoiothermen in ihren Arterien eine bis in die kleinsten Äste reichende, zirkuläre Muskelfaserschicht besitzen (M 1, 136; E I, 63f.). In den *Elementa* zeigt sich, daß HALLER von der Konstriktionskraft der Arterien überzeugt war. Das Zugeständnis wird zur sicheren Überzeugung: „Arterias quidem rubras contractili vi ego quidem non exuo; neque nego. . . in animale calidi sanguinis, arteriae contractionem percipi“ (E I, 440. S. auch E I, 72). („Die roten Schlagadern beraube ich freilich nicht der Kontraktionskraft, und ich leugne nicht, daß die Arterien des Warmblütlers von einer Kontraktion erfaßt werden.“) Diese Kontraktionskraft beruht auf aktiver Leistung der Muskelfasern und ist ausdrücklich verschieden von der Elastizität (E I, 440). Zu den Schlagadern hinziehende Nerven verleihen den Muskelschichten in ihnen diejenige Bewegungskraft, welche das Fleisch von den Nerven bezieht (E II, 206; M 1, 146).

Sie sind es wohl, welche den Effekt des „Schreckens und anderer Ursachen“ (E I, 195) auf die Gefäßweite im Sinne der Konstriktion vermitteln. Ebenso wirkt die Kälte, während die Wärme die Arterien dilatiert (M 1, 146, 148/149; E II, 172). Das venöse Gefäßlumen aber ist unveränderlich (M 2, 263; E I, 120f.).

ROTHSCHUH legt in seiner „Entwicklungsgeschichte physiologischer Probleme in Tabellenform“ (München-Berlin 1952, p. 31) fest, HALLERS These bezüglich dieses Problems sei: „Die Gefäßweite ist unveränderlich“. Diese Feststellung kann ich, wie aus dem Gesagten hervorgeht, nicht bestätigen. Da es scheint, daß die Meinung, HALLER habe dem unveränderlichen Gefäßlumen das Wort geredet, verbreitet ist, wird HALLER rehabilitiert werden müssen. Sogar

in den Mémoires, worauf sich ROTHSCHUH bezieht, gilt die These ausschließlich für die Kaltblütler.

Der ganzen Frage des Gefäßlumens und dessen Veränderungen widmet HALLER kein besonderes Kapitel; seine Feststellungen finden sich verstreut in verschiedenen Kapiteln. Er ist denn auch bei der Beschreibung des Phänomens stehen geblieben und unterläßt es, von der Lumenänderung auf die Differenz des Zeitvolumens zu schließen, die sich aus der Formel für den Strömungswiderstand ergeben muß. So wäre er unweigerlich darauf gestoßen, daß sich der Blutkreislauf an den veränderten Blutbedarf eines Organsystems anpaßt. Im Gegenteil: HALLER weiß, daß Dilatation den Widerstand herabsetzt (M I, 146, 148/149; E II, 172), anerkennt aber keine daraus resultierende Mehrdurchblutung, weil die (elastische) Kontraktionskraft der Gefäßwand durch die Dilatation im gleichen Maße vermindert und damit der sekundäre Motor der Blutströmung geschwächt werde (E II, 172).

Nach heutiger Auffassung paßt sich der Blutkreislauf an, indem sich einerseits die Herzfähigkeit und die Kapillarenzahl modifizieren und andererseits die Arterien und Venen durch ihre glatte Muskulatur die lichte Weite und damit den Strömungswiderstand und die Blutverteilung verändern.

b) Venen

Die Besprechung der Forschungsergebnisse HALLERS im venösen Schenkel des Blutkreislaufes beginnen wir am besten mit der Blutströmung.

1. Venöse Blutströmung

α) Ursache

Daß auch für die venöse Blutströmung hauptsächlich die Herzaktion verantwortlich ist, zeigen HALLERS Beobachtungen. Das Blut in den Venen wird während der Herzsystole nicht beschleunigt. Aber da es sich in dieser Zeit, in welcher die Arterien dilatiert werden und keinen Beitrag zur Blutbewegung leisten, trotzdem fortbewegt, muß die Promotionskraft des Herzens bis in die Venen dringen (E I, 427). Wie ist dies mit der Wellenlehre der arteriellen Blutströmung vereinbar? Die stufenweise Verkleinerung des Arterienlumens hört bei den Kapillaren auf, die zylindrisch gebaut sind. Somit nimmt der Strömungswiderstand hier so stark ab, daß die Vorderwelle keine Verzögerung mehr erfährt. Wenn die nachfolgende Blutwelle im Kapillargebiet eintrifft, haben Vorder- und Hinterwelle folglich insgesamt dieselbe Verlangsamung erfahren. Die Geschwindigkeitsdifferenz beider Wellen ist hier gleich null, und die Blutströmung wird regelmäßig. Diese Feststellung beinhaltet dem Wesen nach die Erkenntnis, daß die Venen keinen systolischen Puls aufweisen (E II, 352).

HALLERS Darlegungen entsprechen der Wirklichkeit. Sowohl die Wellenlehre als solche, d. h. die genannte Ursache ihres Bestehens, als auch die Tatsache und die Gründe der regelmäßigen Strömung in den Venen werden durch die moderne physiologische Wissenschaft vollauf bestätigt²⁸⁾: „Vergleichbar einem elastischen Schlauchsystem fängt die Aorta mit ihren Ästen das vom Herzen ausgeworfene Blutquantum auf. Ruckweise geschieht die systolische Füllung vom Herzen her, unter hohem Druck, und ebenso diskontinuierlich strömt das Blut in den peripheren Gefäßen, um erst hier dann infolge der Träg-

²⁸⁾ BETHE-BERGMANN VII/2, 1223.

heit und Viskosität des Blutes, unter dem Einfluß der engen Lumina und der elastischen Qualitäten der kleinen Arterien den rhythmischen Charakter der Fortbewegung einzubüßen“. Die inhaltliche Übereinstimmung moderner Hämodynamik mit HALLERS Lehre von 1759 ist derart erstaunlich, daß sie für sich selber spricht.

Es gibt verschiedene Kräfte, die das Herz unterstützen im Bestreben, den venösen Blutstrom herzwärts in Bewegung zu halten. HALLER nennt an erster Stelle die *Extremitätenmuskulatur*: „(Ces muscles) compriment les veines, qui se trouvent entr'eux, et cette compression, dont les valvules dirigent l'effet, contribue à faire avancer le sang du côté du coeur“ (M I, 144). Nachdem bereits HARVEY die Funktion der Venenklappen klar erläutert hatte, war es wohl keine neue Erkenntnis HALLERS, daß Muskeltätigkeit die Venen massiert und dank der Venenklappen den Blutstrom herzwärts fördert. Sein Beitrag zur Hämodynamik in diesem Punkte ist folgender: Durch die erwähnte Muskeltätigkeit wird das venöse Blutangebot an das Herz erhöht, der Blutreiz nimmt zu und die Herzaktion wird lebhafter (E II, 326). Diese Steigerung der Herztätigkeit durch erhöhtes venöses Angebot war HALLER derart selbstverständlich, daß er sie nur so nebenher erwähnt. Dies ist erstaunlich. Doch HALLER ist, wie an anderer Stelle, auch hier nicht zur Frage der Anpassung des Kreislaufs an veränderte Bedingungen vorgestoßen.

Einen Einfluß auf die venöse Rückströmung übt zweitens die *Atemtätigkeit* aus (E II, 327–336). HALLER beobachtet, daß bei der Inspiration der Widerstand in den Venen des Thoraxraumes stark abnimmt, sodaß das Blut während dieser Zeit rasch und ungehindert Richtung Herz abfließt. Die Expiration bewirkt das Gegenteil: Die Blutadern des Brustinnenraumes werden komprimiert, und es resultiert daraus eine Einflußstauung. HALLER behauptet, diese könne bei extrem starkem Ausatmen sogar in einen Blutrückstrom umschlagen. Damit will er den roten Kopf erklären, der z. B. beim Heben schwerer Lasten auftritt. Meistens aber verhindern Klappen den Rückfluß des Blutes, und den Schaden der Expiration macht die Inspiration mehr als wieder gut. Der fördernde Effekt der Inspiration überwiegt. Heute weiß man, daß es einen retrograden Blutstrom in den großen Venen nicht gibt. Im übrigen aber entspricht HALLERS Lehre der Beziehung von Atemtätigkeit und venöser Blutströmung vollauf der Wirklichkeit.

β) Eigenart der venösen Blutströmung

Arterielle und venöse Blutbewegung haben einzig die Eigenschaft der laminären Strömung gemeinsam: Die roten Blutkörperchen fließen in parallelen Bahnen (M I, 85 und E II, 323); axial strömen sie etwas rascher als in der Nähe der Gefäßwand (E II, 323). Die übrigen Eigenschaften sind völlig verschieden: Ruhige Regelmäßigkeit zeichnet den venösen Blutstrom aus: „... mais qu'il coule partout d'une vitesse parfaitement égale et qu'il jaillit avec cette même égalité quand on ouvre la veine“ (M I, 84). HALLER verweist an dieser Stelle auf BORELLI. Die Ursache dieser kontinuierlichen Strömung haben wir bereits besprochen.

Die Strömungsrichtung kann im Gebiet der vernetzten kleinen Venen wechseln (M I, 86). Das Blut fließt an den Ort des geringsten Widerstandes. In größeren Venen, die mit Klappen versehen sind, wird die Richtung stets beibehalten.

γ) Strömungsgeschwindigkeit

Das Blut fließt in den Venen wohl kontinuierlich; seine Geschwindigkeit ist aber inkonstant: „Non mirum videri debet, velocitatem venosi cruoris, multo quam arteriosi incertiorum esse, et modo lente per venas sanguinem fluere, quando causae tardantes operantur, modo celeriter quando accelerantes causae praevalent“ (E II, 342). („So muß es nicht verwunderlich erscheinen, daß die Geschwindigkeit des venösen Blutes viel inkonstanter als jene des arteriellen Blutes ist, und daß es bald langsam durch die Venen fließt, wenn verzögernde Kräfte wirksam sind, bald rascher, wenn beschleunigende Ursachen überwiegen.“)

Welches sind diese fördernden und hemmenden Kräfte?

Beschleunigende Ursache ist für HALLER weder der Herzschlag (gegen HALEs gerichtete Negation) noch die Arterienkonstriktion. Der Grund dafür, daß das venöse Blut gegen das Herz hin in progredient raschere Bewegung gerät, liegt in der bekannten Kegelfigur des Gefäßsystems (E II, 324–325). Wie bereits im Kapitel über die Arterien erläutert, hat HALLER erkannt, daß durch einen kleineren Gesamtquerschnitt nur dann das gleiche Blutvolumen pro Zeiteinheit fließen kann, wenn die Strömungsgeschwindigkeit ansteigt.

Der *hemmende* Faktor ist das Gewicht. Voll Stolz schreibt HALLER, daß kein einziger Autor bisher den Einfluß des Blutgewichtes auf die venöse Strömung beim lebenden Tier beschrieben habe. Er berichtet über ein einfaches Experiment am lebenden Frosch: Er hielt das freigelegte Mesenterium über und unter das Herzniveau. Dabei beobachtete er mit bloßem Auge und mit dem Mikroskop das Verhalten der Blutströmung. Während die arterielle Blutbewegung unverändert blieb, floß das venöse Blut umso rascher, je mehr die beobachtete Vene dem Herzniveau genähert oder darüber hinaus gehoben wurde; beim Senken unter die Herzebene nahm die Geschwindigkeit immer mehr ab (M I, 150–151; s. auch E I, 207).

Das Gewicht der Blutsäule, unser hydrostatischer Druck, ruht zum Teil auf den Venenklappen, die dadurch ihre sinnvollste Aufgabe erfüllen. Zum andern Teil wird es durch die Elastizität der Venenwand aufgenommen: Die Wand weitet sich durch diesen Seitendruck aus: Maß dieses Druckes auf die Wände ist die Venenerweiterung oberhalb einer Ligatur. Die gespeicherte Energie befördert das Blut an den Ort eines Aderlasses (E II, 351).

HALLER verweist in diesem Zusammenhang auf die Varikosis, welche entsteht, wenn der Druck sich längere Zeit auswirkt und die Wand nicht genügend Widerstand leistet (M I, 152; E II, 207–208). So leiden Leute daran, die lange stehen müssen (Drucker, Ausrufer) und solche, bei denen der hydrostatische Druck durch Erschwerung des Rückflusses zunimmt (Schwangere). Absurd-komisch mutet die Erklärung an, Hydrocephalie rühre davon her, daß der Foetus zu lange in Kopflage habe verharren müssen und so das Gewicht des Blutes den Kopf habe ausweiten können.

In diesem Exkurs in die Pathophysiologie bei HALLER²⁹⁾ seien interesshalber einige andere, besonders hervorstechende Feststellungen über pathophysiologisches Geschehen im Blutkreislauf angeführt. An einer Stelle spricht HALLER von harten Fleischwarzen auf den Mitral- und aortalen Taschenklappen, die durch die intensive Reibung des Blutes an ihnen entstünden (E I, 413 und 415). Damit hat er wohl unsere Endocarditis verrucosa

²⁹⁾ Siehe H. BUSS, Die Anfänge der pathologischen Physiologie auf dem Gebiet der Kreislaufforschung nach A. HALLERS *Elementa Physiologiae* (1756/1760). *Gesnerus* 11, 121–151 (1954).

beobachtet. Gleiche Aufmerksamkeit erregt die Stelle, an der HALLER den Zusammenprall von arterieller Vorder- und Hinterwelle für die Entstehung der Aneurysmata und sklerotischen Veränderungen verantwortlich macht. Diese Veränderungen fand er vorallem bei Richtungsänderungen der Arterien (E II, 231).

Von besonderem Interesse sind HALLERS Beobachtungen über den Wundverschluß (M I, 116–117). Er verletzte ein Gefäß und konnte sehen, wie sich an der blutenden Stelle zuerst ein Nebel und daraus ein Koagulum bildete, das zusammen mit einem Erythrozytenpfropf die Öffnung verschloß. Hier handelt es sich um eine der ersten Beobachtungen von intravitaler Thrombusbildung in der Medizingeschichte³⁰). Im gleichen Kapitel beschreibt HALLER die Retraktion der Wundränder.

Wir stellen fest, daß HALLERS Lehre über die venöse Blutströmungsgeschwindigkeit fest auf dem Boden der Tatsachen steht.

2. Venenpuls

Venen sind pulslos (M I, 77). Ein An- und Anschwellen der Venen, ein Pseudopuls, ist abhängig von der Atmung. Die inspiratorische Entleerung und expiratorische Stauung des Blutes herznaher Venen, unser Venenpuls, wurden bereits besprochen, ebenso die Exkursionen dieser Blutadern, die von der Vorhofrevolution abhängig sind.

Die spätere Forschung hatte dem nichts beizufügen.

3. Venenlumen

„Nam et absque conspicuis musculosis fibris venas esse ostendimus, et absque irritabili natura, inque vivorum animalium incisionibus, neque venas contrahi vidimus“ (E II, 325). („Denn wir haben gezeigt, daß die Venen keine sichtbaren muskulären Fasern besitzen, und wir haben bei Vivisektionen auch keine Venenkontraktion gesehen.“)

Die Gefäßweite der Blutadern ist für HALLER unveränderlich. Lumenänderungen sind durch „tote“ (physikalische) Kräfte bedingt, wie die Dilatation unter dem Gewicht der zu tragenden Blutsäule. Die Venen funktionieren als starre, den Blutstrom leitende Röhren.

Wenn wir HALLERS Lehre über die Hämodynamik der Venen überblicken, stellen wir fest, daß der Gelehrte in autoritativer Weise HARVEY, DE SAUVAGES u. a. nachgeprüft und deren Meinungen übernommen hat. Diese wurden damit verbindlich! Die Ausführungen über den hydrostatischen Druck sind sein eigener Beitrag zur Lehre von der Blutbewegung.

IV. Hallers Stellung in der Geschichte der Hämodynamik

„HALLER hat zuerst die ganze Physiologie als empirische Wissenschaft dargestellt mit aller Bestimmtheit, welche Beobachtungen, Experimente und ein vorsichtiges Raisonnement verleihen können. Er hat dieser Wissenschaft den Geist der Exaktheit eingepflanzt...“³¹). Diese Leistung HALLERS kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. Dadurch, daß er praktisch unabhängig war von älteren und neueren Theorien und von den philosophischen Richtungen seiner Zeit, daß er außerdem als Erster auf dem festen Boden der Beobachtung

³⁰) H. BUSS wies als erster darauf hin in „Marksteine in der Geschichte von Thrombose und Embolie“, Gesnerus 12 (1955).

³¹) C. A. WUNDERLICH, Geschichte der Medizin, 176 (Stuttgart 1859).

und des zielstrebigen Experimentierens stand, wurde HALLER zum Begründer der Physiologie als wahrhafter Biologie (H. BUESS)³²⁾.

Das gilt insbesondere für die Hämodynamik. Durch unermüdliches Experimentieren und gleichzeitige Auseinandersetzung mit der gesamten einschlägigen Literatur, die er in sein großes Werk integrierte und deren allgemeine Kenntnis ein einzigartiges Phänomen für sich allein darstellt, hat HALLER nicht nur in umfassender Weise ältere und neuere Ergebnisse der Hämodynamik bestätigt, sondern er vermochte wesentliche, eigene Erkenntnisse beizusteuern. So hat er sich ein Verständnis der Hämodynamik erarbeitet, wie es kein Arzt vor ihm besessen hatte. Entscheidend ist HALLERS großes Verdienst, seine Erkenntnisse der Nachwelt dienstbar gemacht und überliefert zu haben, indem er seine Forschungsergebnisse als Erster zum *hämodynamischen System* erhob.

Wenn die vorliegenden Ausführungen gezeigt haben, daß auf die HALLERSche Hämodynamik die heutige Lehre von der Blutbewegung in den allermeisten ihrer Teile zurückgeht, ist das Ziel erreicht, unseren großen Landsmann in sein Recht als Begründer der modernen Hämodynamik einzusetzen.

Es sei noch kurz auf die *Nachwirkung der Elementa* eingegangen³³⁾. Mehr als hundert Jahre lang durfte HALLER in keiner öffentlichen und privaten Bibliothek fehlen, und am Ende des 18. sowie in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts erschien kaum eine physiologische und pathophysiologische Arbeit, ohne daß sich der Autor mit HALLER auseinandergesetzt hatte. Der große JOHANN GOTTFRIED HERDER (1744–1803) etwa holte sich die physiologischen Belege bei HALLER, um seine „Physiologie des Denkens“ und seine Lehre von „der aufsteigenden Einförmigkeit der Natur“ zu schaffen. KARL ASMUND RUDOLPHI (1771–1832) baute seinen „Grundriß“ ausdrücklich auf HALLER auf. Das Handbuch von JOHANNES MUELLER (1801–1858, Schüler und Nachfolger RUDOLPHIS in Berlin) wurde thematisch von den *Elementa* angeregt. Dies trifft ebenso zu bei DU BOIS-REYMOND (1818–1896), VIRCHOW (1821–1902), FRIEDRICH MIESCHER-HIS (1811–1887) und andern. HALLERScher Geist und Einfluß findet sich noch bei der nächsten Generation, z. B. bei LUDIMAR HERMANN (1838 bis 1914) und bei Joh. BALTHASAR LUCHSINGER (1849–1886)³⁴⁾.

Im französischen Sprachbereich ist vor allem FRANÇOIS MAGENDIE (1783 bis 1855) zu nennen. Er beklagte sich, es sei ihm oft passiert, daß er am Ende einer „Entdeckung“ diese bereits bei Haller vorfand!

Auch für die Hämodynamik gilt, was H. BUESS für die ganze Physiologie aussagt³⁴⁾: „Die ganze breite Entfaltung der Physiologie im 19. Jahrhundert ist völlig undenkbar ohne die Vorarbeiten des Berner Gelehrten“.

Zusammenfassung

ALBRECHT VON HALLER lebte in einer Epoche, in der die moderne Wissenschaft ihre Wurzeln schlug. Sein Ruhm gilt dem Biologen, Botaniker und Dichter. Unsterblich wurde er

³²⁾ H. BUESS, Zur Entwicklung der Irritabilitätslehre, Basel 1942, 324.

³³⁾ In enger Anlehnung an: H. BUESS, Zur Entstehung der *Elementa Physiologiae* Albr. Hallers, *Gesnerus* 15, 32–33.

³⁴⁾ Vgl. über ihn: H. R. THÜER, J. B. LUCHSINGER, ein wenig bekannter Schweizer Physiologe. Basler Veröffentlichungen zur Geschichte der Medizin und Biologie, Fasc. II, Basel 1953.

durch die Begründung der Physiologie in seinem achtbändigen Lebenswerk, den „*Elementa physiologiae corporis humani*“. In den ersten beiden Bänden dieses Werkes und in der Monographie „*Deux mémoires sur le mouvement du sang*“ findet sich eine reiche Sammlung hämodynamischer Erkenntnisse, die bis heute viel zu wenig beachtet worden sind.

Nach einem biographischen Teil, welcher die überragende Persönlichkeit HALLERS, seinen unstillbaren Forschungsdrang und sein nie versagendes Durchhaltevermögen aufzuzeigen versucht, wird die Entwicklung hämodynamischer Lehren in der Medizingeschichte bis HALLER fragmentarisch dargestellt.

Besonderen Einfluß auf HALLER haben ausgeübt: Der Entdecker des Blutkreislaufes, HARVEY, welcher HALLER methodisch befruchtet hat; BORELLI, der als Erster die Physik zur Erklärung physiologischer Vorgänge heranzog, den Beitrag der Arterien zum Kreislauf des Blutes erkannte und die Herzarbeit zu berechnen versuchte; HALES, der den großen peripheren Widerstand im Gefäßsystem erkannte und den Blutdruck entdeckte und maß; DANIEL BERNOULLI, dessen „*Hydrodynamica*“ (1738) den Forschern über die Hämodynamik ganz neue Wege eröffnete und der zusammen mit PASSAVANT zum erstenmal die Herzarbeit richtig berechnete; DE SAUVAGES, welcher BERNOULLIS Erkenntnisse auf die Hämodynamik übertrug, und dessen Wellenlehre der arteriellen Blutbewegung HALLER übernommen hat.

HALLER hat seine hämodynamischen Lehren aus einem Geiste heraus geschrieben, der nur das reproduzierbare Experiment bei andern und bei ihm selbst gelten ließ. Er war ein rationalistischer, induktiver, moderner Forscher. Zu der Lehre über die Funktion der Organe gelangte HALLER vom soliden Fundament der Anatomie aus. HALLERSche Physiologie ist *Anatomia animata*.

Zuerst wird die Hämodynamik des Herzens besprochen. Aktive Herzphase ist die Systole, die durch Muskelfaserkontraktion zustande kommt. Damit wird eine These HARVEYS konsolidiert. Ursache der Herzaktion ist der Reiz des Blutes. Das Herz ist überhaupt das reizbarste Organ. Die Reihenfolge der Systolen der einzelnen Herzteile wird durch den Blutreiz gesteuert, den sich die vier Herzhöhlen weitergeben. HALLER stellt die autonome Herzaktion klar heraus. Richtig weiß er, daß einzig zum Herzen hinziehende Nerven einen Einfluß ausüben. Der Herzspitzenstoß wird auf eine eigenwillige Art erklärt. HALLER beschreibt der Wirklichkeit entsprechende Bewegungen des ganzen Organs: Bei der Systole bewegt sich das Herz nach oben, vorn und rechts; atemabhängig sind Verschiebungen in der Höhenlage. Als Erster spricht HALLER von zwei Herzen in einem Organ, die je eine Einheit bilden und analoge Funktionen ausüben. Die richtige Beobachtung herzs Schlagabhängiger, rhythmischer Bewegungen der herznahen großen Venen interpretiert HALLER fälschlich als aktive Kontraktion von Venenwandmuskulatur. Der Ablauf der Systole des rechten Ventrikels ist richtig beschrieben. Größeren Raum nimmt die Schilderung der Funktionsweise der Klappen ein, die in den Grundzügen bereits den Alexandrinern bekannt war. Mit Hilfe physikalischer Begriffe werden die Öffnungen und der Schluß beider Klappenarten im Prinzip richtig dargelegt. Die Herzkraft (oder Herzarbeit) kann nach HALLER nicht in Zahlen angegeben werden.

Im Weiteren werden die Gefäße behandelt, in einem ersten Teil die Arterien. HALLERS Pulslehre wird referiert, die auf Vorarbeiten von BERNOULLI und DE SAUVAGES sowie auf ausgedehnten eigenen Forschungen ruht. Die durch die Systole aus dem Herzen geworfene Blutmenge bildet eine Welle, die im Zusammenprall mit der arteriellen Blutsäule einerseits die Gefäßwand ausweitet, andererseits das vor ihr fließende Blut beschleunigt. Es entsteht eine Kettenreaktion zusammenstoßender Wellen. So läuft die Arterienarterienerweiterung, der Puls, nach peripher ab. Diese Pulslehre gilt im wesentlichen heute noch.

Die Dilatation folgende Gefäßkonstriktion erfolgt durch die Elastizität der Gefäßwand, welche einen Teil der Herzkraft speicherte. Durch diesen Vorgang wird die Blutströmung während der Diastole des Herzens aufrechterhalten. In intensiver Arbeit konnte HALLER in diesem Punkte DE SAUVAGES bestätigen. Die These wurde durch HALLER gegenüber gegnerischen Meinungen muskulärer Arterienkontraktion verteidigt und etabliert.

Unseren Blutdruck benennt HALLER Herzkraft und Seitendruck. Er entsteht durch die Aktion des Herzens und den beschriebenen Wellenzusammenstoß. Der „Nachdruck des Blutes“ ist in Venen und Arterien gleich groß. Das Maß läßt sich nicht genau angeben.

Die Ursache der Blutströmung ist eindeutig nur das Herz. Von HARVEY ist HALLER derart eingenommen, daß er dessen Experimente durchführt und die Lehre vom Blutkreislaufe vehement verteidigt. Er beschreibt richtig die laminäre Blutströmung, deren Geschwindigkeit im Gefäß von zentral nach parietal abnimmt und arteriell in rhythmischen, pulsatorischen Wellen erfolgt.

Die Ausführungen des Gelehrten über die Geschwindigkeit der Blutströmung sind erstaunlich. Er weiß, daß sie wegen der Zunahme des Gesamtquerschnittes der Gefäße in den Arterien peripherwärts beständig abnimmt, um dann in den Venen gegen das Herz hin beschleunigt zu werden. In den Kapillaren ergibt sie indessen höhere Werte, als die Theorie erfordert. Zur Erklärung dieser Tatsache nimmt HALLER hypothetisch moderne Erkenntnisse voraus. Die Geschwindigkeit wird außerdem durch den Strömungswiderstand beeinflusst. Es wird beschrieben, wie HALLER den Strömungswiderstand in direkter Abhängigkeit von der Gefäßlänge (äußere Reibung) und der Viskosität (innere Reibung), in indirekter Abhängigkeit vom Gefäßquerschnitt sieht. In eine Formel gebracht, differiert HALLERS Lehre nur in der mathematischen Genauigkeit von der heute geltenden Formel.

Bei der Frage der Veränderlichkeit des arteriellen Gefäßlumens wird gezeigt, daß HALLER um Weitenänderungen der Arterien vor allem unter dem Einfluß von Temperaturdifferenzen und von Affekten wußte. „Rote Fleischfasern“ in der Arterienwand ermöglichen diese Änderungen des Lumens. Bei HALLER ist die Gefäßweite nicht unveränderlich.

Ein zweiter Teil behandelt die Venen. HALLER ließ hier als Ursache der Strömung nur das Herz gelten. Er wußte, daß sich die „Arteriensystole“ in den Kapillaren nicht mehr auswirkt, weil die Wellendifferenzen hier aufgehoben sind. Mit HARVEY räumte HALLER ein, daß die Muskeltätigkeit der Extremitäten dank den Venenklappen die venöse Blutströmung herzwärts fördert. Er trägt dazu bei, daß damit das venöse Blutangebot an das Herz und dessen Aktion zunimmt.

Im weiteren wird auf die Auffassung HALLERS über die Beziehung von Atemtätigkeit und venöser Blutströmung eingegangen. Richtig beschrieb der Gelehrte, daß Inspiration und Expiration Abnahme bzw. Zunahme des Strömungswiderstandes bedeuten.

Die venöse Blutströmung ist ebenfalls laminär, und die Geschwindigkeit nimmt auch in den Venen von zentral nach parietal ab. Die Strömung ist hier aber kontinuierlich; im Gebiet der venösen Netze kann sie ihre Richtung wechseln. Ihre Geschwindigkeit nimmt gegen das Herz hin zu. HALLER ist stolz auf seine Entdeckung, daß das hydrostatische Gewicht der Blutsäule der Strömung in den Venen entgegenwirkt, die unter dem Herzniveau liegen. Dieser Druck weitet die Venen aus. Er ist die Ursache einiger pathologischer Erscheinungen.

Für HALLER sind die Venen im Sinne des Arterienpulses pulslos. Atemabhängig ist ein Pseudopuls. Da die Venenwand keine Muskelfasern enthält, ist für den Gelehrten die Venenweite im Gegensatz zu derjenigen der Arterien unveränderlich.

HALLERS Stellung in der Geschichte der Hämodynamik wird zum Schluß umrissen. Dadurch, daß HALLER von früheren Theorien unabhängig war und nur Beobachtung und Experiment gelten ließ, war die Voraussetzung geschaffen dafür, daß der Berner Gelehrte die Hämodynamik in umfassender Weise erforschen und in autoritativer Weise seine Erkenntnisse zusammen mit nachgeprüften Ergebnissen von Vorgängern zu einem System erheben konnte, das in den meisten seiner Teile heute noch gültig ist. ALBRECHT VON HALLER darf als der eigentliche Begründer der modernen Hämodynamik gelten.

Summary

ALBRECHT VON HALLER (1708–1777) lived at a time when the modern approach to science was just beginning to take root. He became famous as a biologist, botanist, and writer, and achieved immortality by laying the foundations of physiology in an 8-volume work entitled “*Elementa physiologiae corporis humani*”. The first two volumes of this

opus, as well as his "Deux mémoires sur le mouvement du sang", contain a rich fund of information on haemodynamics which has not so far received the attention it deserves.

The biographical section of the present thesis, in which an attempt is made to illustrate HALLER's outstanding personality, his insatiable thirst for knowledge, and his never-failing perseverance, is followed by an outline of theories on haemodynamics that had been developed before HALLER's time.

HALLER was influenced in particular by the following men: HARVEY (1578-1657), who discovered the circulation of the blood and whose methods were a source of inspiration for HALLER; BORELLI (1608-1679), who was the first to make use of physics in order to explain physiological processes, who recognised the contribution made by the arteries to the blood circulation, and who tried to calculate the work performed by the heart; HALES (1677-1761), who discovered the existence of a marked peripheral resistance in the vascular system and measured the blood pressure for the first time; Daniel BERNOULLI (1700-1782), whose "Hydrodynamica" opened up entirely new vistas for investigators in the field of haemodynamics and who, together with PASSAVANT, was the first to calculate the work performed by the heart correctly; and de SAUVAGES (1706-1767), who applied BERNOULLI's findings to haemodynamics and whose wave theory about the arterial movement of the blood was taken over by HALLER.

In formulating his theories on haemodynamics HALLER allowed himself to be guided only by knowledge gained, either by himself or by others, from reproducible experiments. He was a rationalistic, inductive scientist of the modern type. His theory about the function of the organs is firmly based on anatomical considerations. HALLER's physiology is, as it were, animated anatomy.

Cardiac haemodynamics are discussed first of all. The active phase of the heart's work is systole, which is produced by contraction of muscular fibres. Haller thus corroborates a thesis put forward by HARVEY. The cause of the heart's action is the stimulus provided by the blood. The heart is the most 'irritable' of all the organs. The sequence of the systoles in the various portions of the heart is controlled by this stimulus, which the four cardiac cavities pass on from one to the other. HALLER emphasises the autonomous nature of the heart's action. He correctly points out that only nerves running towards the heart exert an effect. He gives a very odd explanation for the apex beat. The movements of the entire organ are correctly described: at systole, the heart moves upwards, forwards, and to the right; displacements in height are dependent on respiration. HALLER was the first to speak of two hearts in a single organ, each of which forms a separate entity and both of which carry out similar functions. HALLER rightly observes that the large veins in the vicinity of the heart perform rhythmical movements which are dependent on the heart beat, but he is wrong in interpreting these movements as active contractions of muscles in the venous walls. He gives a correct description of the course of systole in the right ventricle. He devotes considerable space to depicting valvular function, the main outlines of which were already known to the Alexandrians. The opening and closing of both types of valve is, in principle, correctly expounded with the aid of concepts borrowed from physics. According to HALLER, cardiac energy (or cardiac work) cannot be expressed in figures.

The author of the present thesis then goes on to discuss the blood vessels, starting with the arteries. Reference is made to HALLER's theory about the pulse, which was based on preliminary work done by BERNOULLI and de SAUVAGES, as well as on HALLER's own extensive research. The blood expelled from the heart during systole forms a wave which, on colliding with the arterial blood column, dilates the vascular wall, and, at the same time, accelerates the flow of the blood in front of it. A chain reaction of colliding waves is produced, causing the arterial dilatation, or pulse, to move towards the periphery. This pulse theory is, in the main, still valid today.

The vasoconstriction which follows upon the vasodilatation is due to the elasticity of the vascular wall which stores some of the energy generated by the heart. This ensures that blood flow is maintained during cardiac diastole. HALLER, by dint of intensive study, was

able to confirm the findings of de SAUVAGES in this respect. He stoutly defended this thesis against theories based on a muscular contraction of the arteries.

Blood pressure was described by HALLER as being made up of cardiac energy and lateral pressure. It resulted, according to him, from the action of the heart and the wave collision already referred to. He believed the "after-pressure of the blood" to be the same in the veins as in the arteries, but was unable to measure its exact value.

He was convinced that only the heart could be responsible for the blood flow. HALLER was so captivated by HARVEY that he repeated the latter's experiments and vehemently defended HARVEY's theory of the blood circulation. HALLER's description of the laminar nature of the blood flow was correct, and he was also right in stating that the rate of blood flow in a blood vessel decreases from the centre to the walls and that blood flows through the arteries in rhythmical, pulsatory waves.

HALLER's observations on the rate of blood flow are astonishing. He knew that owing to the increase in the total cross-section of the vessels the blood flow in the arteries steadily diminishes towards the periphery and is then accelerated again in the veins as the blood approaches the heart. In the capillaries, however, the blood flow values are higher than would be expected theoretically. To account for this, HALLER puts forward a hypothesis which anticipates modern knowledge. The rate of blood flow, he suggests, is also affected by the resistance to flow. HALLER believed this resistance to be directly dependent on the length of the blood vessel (external friction) and the viscosity of the blood (internal friction), and indirectly dependent on the vascular cross-section. When reduced to a formula, HALLER's theory differs only in mathematical accuracy from the formula regarded as valid today.

As regards the question of the variability of the arterial lumen, the changes in arterial width with which HALLER was familiar were chiefly those due to differences in temperature and to emotional causes. These alterations in luminal width were facilitated by "red fibres of flesh" in the arterial wall. For HALLER, arterial width was not an invariable quantity.

A further section of the present thesis is devoted to the veins. Venous blood flow, in HALLER's view, was caused solely by the heart. He knew that "arterial systole" no longer exerted any effect in the capillaries because the wave differences were abolished at this level. In agreement with HARVEY, HALLER admitted that the muscular activity of the extremities forced the venous blood towards the heart with the aid of the venous valves. This muscular activity helped to increase the supply of venous blood to the heart and to step up the latter's action.

Attention is also drawn to HALLER's views on the relationship between respiratory activity and venous blood flow. HALLER was correct in stating that inspiration and expiration signify, respectively, a decrease and increase in flow resistance.

HALLER declared that the venous blood flow was likewise laminar, and that in the veins, too, the rate of flow decreased from the centre towards the walls. Unlike arterial flow, however, venous blood flow was continuous, and it was able to change direction in the region of the venous plexuses. Its speed increased as it approached the heart. HALLER was proud of his discovery that the hydrostatic gravity of the blood column counteracted the flow of blood in the veins located below the level of the heart. This pressure dilated the veins, and was the cause of several pathological manifestations.

HALLER believed that the veins had no pulse, in the sense that the arteries had, but that they possessed a pseudo-pulse dependent on respiration. Since the venous wall did not contain any muscular fibres, HALLER thought that venous width, unlike arterial width, was invariable.

The thesis concludes with an outline of HALLER's position in the history of haemodynamics. The fact this Bernese scholar worked independently of earlier theories and relied solely on observations and experiments enabled him to make a comprehensive study of haemodynamics and to combine his own discoveries with proven results obtained by his predecessors into an authoritative system which, in most respects, is still valid today. ALBRECHT VON HALLER was, in fact, the founder of modern haemodynamics.

Literatur

BUESS, H., Die Anfänge der pathologischen Physiologie auf dem Gebiet der Kreislauf-
forschung nach ALBRECHT HALLERS *Elementa Physiologiae* (1756/1760). *Gesnerus* **11**,
121–151 (1954). — BUESS, H., Zur Entstehung der *Elementa Physiologiae* ALBRECHT
HALLERS (1708–1777). *Gesnerus* **15**, 17–35 (1958). — BUESS, H., Zur Entwicklung der
Irritabilitätslehre, in *Festschrift für Dr. J. BRODBECK-SANDREUTER* 299–333 (Basel
1942). — BUESS, H., Notizen zur Geschichte der Sphygmographie. *Experientia* **3** (1947). —
BUESS, H., Marksteine in der Geschichte von Thrombose und Embolie, *Gesnerus* **12**,
159–190 (1955). Teilweiser Vorabdruck: *Schweiz. med. Wschr.* **84**, 776–779 (1954). —
BETHE-BERGMANN-EMBDEN-ELLINGER, *Handbuch der normalen und pathologischen*
Physiologie (Berlin 1927). — HALLER, A., ALBRECHT VON HALLERS Leben (Basel, ohne
Jahreszahl). — VON HALLER, A., *Deux mémoires sur le mouvement du sang et sur les*
effets de la saignée, fondées sur des expériences faites sur des animaux (Lausanne 1756). —
VON HALLER, A., *Elementa physiologiae corporis humani*. (Lausanne und Bern 1757–1766)
(Tomus I und Tomus II). — HALLER, J. S., *Herrn ALBRECHT VON HALLERS Anfangsgründe*
der Physiologie des menschlichen Körpers. Aus dem Lateinischen übersetzt (Berlin 1759 bis
1776). — HUBER, F., DANIEL BERNOULLI (1700–1782) als Physiologe und Statistiker. *Diss.*
med. (Basel 1958). — KOELBING, H. M., *Blutgefäße und Blutdruck einst und jetzt*.
Documenta Geigy (Basel 1963). — ROTHSCUH, K. E., *Entwicklungsgeschichte physiologi-*
scher Probleme in Tabellenform (München-Berlin 1952). — ROTHSCUH, K. E., *Geschichte*
der Physiologie, Monographie im Rahmen des Lehrbuches der Physiologie in *zusammen-*
hängenden Einzeldarstellungen. Herausgegeben von W. TRENDLENBURG und E. SCHUETZ
(Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953). — SAUVAGES, F. B. DE, *Sur l'inflammation*, in *HALES*,
Haemostatique ou la statique des animaux, ins Französische übersetzt und mit Anmerkun-
gen versehen von de Sauvages 201–283 (Genf 1744). — SAUVAGES, F. B. de, *Anatomico-*
hydraulicae observationes de arteriarum pulsatione, *Nova acta physicomedica Acad.*
Caes. Leopoldino Carolinae Nat. Curios. 128–141 (Nürnberg 1757). — SIGERIST, H. E.,
Große Ärzte (München 1954). — REIN, H. und M. SCHNEIDER, *Physiologie des Menschen*
(Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956). — WUNDERLICH, C. A., *Geschichte der Medizin*
(Stuttgart 1859).

Lebenslauf

Ich wurde am 30. November 1936 in Lenzburg (Aargau) geboren. Dort durchlief ich Primar- und Bezirksschule. 1953 bezog ich das humanistische Gymnasium der Stiftsschule Einsiedeln, das ich 1957 mit der Matura abschloß. Im gleichen Jahr immatrikulierte ich mich als Student der Medizin an der Universität Basel, der ich – mit einem einsemestrigen Unterbruch in Wien – bis zum Staatsexamen im Jahre 1963 treu blieb. Anschließend arbeitete ich in einem wissenschaftlichen Labor der Medizinischen Universitätsklinik Basel. Seit August 1965 bin ich am Städtischen Krankenhaus Baden (Schweiz) als Assistent der Medizinischen Abteilung tätig.

Herrn Prof. H. BUSS bin ich für die Überlassung des Themas und für mannigfache Unterstützung sehr zu Dank verbunden.

